

# كتاب

## العروس البديعة

في

# علم الطبيعة


تأليف

اسعد الشدودي معلم العلوم التعليمية

في المدرسة الكلية السورية

الانجيلية في

بيروت



طُبع في بيروت سنة ١٨٧٣

فهرس

## الباب الاول في الفلسفة والمادة


وجه

| | |
|---|---|
| المقدمة في تحديد العلم والفلسفة | ١ |
| الفصل الاول في الحدود والخصائص العمومية للمادة | ٣ |
| « الثاني في الثقل النوعي | ٣٥ |
| « الثالث في مركز الثقل | ٣٦ |


## الباب الثاني في الحركة


| | |
|---|---|
| الفصل الاول في الحركة والزخم والقوة | ٤٨ |
| الفصل الثاني في حركة الاجسام الساقطة الى الارض | ٥٣ |
| « الثالث في تركيب الحركة وحلها | ٦٤ |
| « الرابع في مصادمة الاجسام | ٧٧ |
| « الخامس في قوة التباعد عن المركز | ٩٠ |
| « السادس في الرقاص | ٩٤ |


## الباب الثالث في الميكانيكيات


| | |
|---|---|
| الفصل الاول في المخل والقبان والميزان | ١٣٣ |
| « الثاني في الدولاب والجزع | ١٤٠ |
| « الثالث في البكرة | ١٤٤ |
| « الرابع في السطح المائل | ١٤٨ |
| « الخامس في البرغي | ١٥٣ |
| « السادس في السفين | ١٥٦ |

وجه


خاتمة كلام عموم في الميكانيكيات ١٥٨

## الباب الرابع في السائلات

الفصل الاول في الماء الراكد ١٦٣
" الثاني في الماء الجاري ١٨٥

## الباب الخامس في الهوائيات

المقدمة في ماهية الجلد وخصائصهِ ٣٠٥
الفصل الاول في البارومتر ٣٠٩
" الثاني في الجلد ومتعلقاتهِ ٣١٨
" الثالث في الرياح ورطوبة الجلد ٣٢٥
" الرابع في ضغط الهواء ٣٣٦
" الخامس في تفريغ الهواء والالة المفرغة ٣٤١
" السادس في الالات الهوائية ٣٥٠

## الباب السادس في السمعيات

المقدمة في تحديد السمعيات وفي الصوت وتولُّده ٣٦١
الفصل الاول في انتقال الاصوات ٣٦٣
" الثاني في انعكاس الاصوات ٣٧١
" الثالث في الالات الموسيقية ومباديها الفلسفية ٣٧٥
" الرابع في السلم الموسيقي ٣٨١
" الخامس في عقد الاهتزاز ٣٨٧

## الباب السابع في الكهربائية

المقدمة في تاريخ معرفة الكهربائية ٣٩١

وجه

الفصل الاول في اصطلاحات كهربائية وبعض انواع الالكترومتر ٢٩٢

الفصل الثاني في خصائص الكهربائية ٢٩٧

« الثالث في الالة الكهربائية وظواهر الكهربائية بها ٣٠٦

« الرابع في الحل الكهربائي ٣١٣

« الخامس في القنينة الليدنية وخصائصها ٣١٦

« السادس في البطارية اللدنية ٣٢٣

« السابع في بعض تجربات كهربائية ٣٢٥

« الثامن في الكهربائية الكلفانية او الملطائية ٣٢٨

« التاسع في البطارية الكلفانية ٣٣٣

« العاشر في ملاحظات البطارية الملطائية ٣٣٦

« الحادي عشر في الكهربائيتين السالبة والموجبة وقطبتيها ٣٣٨

« الثاني عشر في الفرق بين كهربائية الفرك والكهربائية الكلفانية ٣٤٠

الفصل الثالث عشر في قوات الايصال للموصلات والمفاعيل الكيماوية للمجرى الملطائي ٣٤١

الفصل الرابع عشر في النور الكهربائي والهزة الكهربائية ٣٤٤

« الخامس عشر في مفاعيل الكهربائية الكيماوية والميكانيكية وسرعتها ٣٤٨

الفصل السادس عشر في اطلاق لفظ السيال على الكهربائية والبحث عن مذهبي دوفاي وفرانكلين ٣٥٥

الفصل السابع عشر في كهربائية الجلد والوقاية منها ٣٦١

وجه

الفصل الثامن عشر في الكهربائية الحيوانية ٣٦٧

التاسع عشر في كهربائية الحرارة ٣٧٠

## الباب الثامن في المغناطيسية

المقدمة في تعريف المغناطيسية وتاريخها ٣٧٣

الفصل الاول في المغناطيسية مطلقًا ٣٧٣

« الثاني في المغناطيسية بالنظر الى الارض ٣٨٤

« الثالث في التمغنط الصناعي ووقاية المغناطيس ٣٩١

## الباب التاسع في الكهربائية المغناطيسية

المقدمة في تحديد الكهربائية المغناطيسية وتاثير المجرى الكهربائي في الابرة المغناطيسية ٣٩٧

الفصل الاول في الكلفانومتر ٣٩٩

« الثاني في حركة مغناطيس حول شريط موصل ٤٠١

« الثالث في فعل المغناطيس على حلقة موصلة ٤٠٣

« الرابع في التمغنط بمجرى كهربائي ٤٠٥

« الخامس في تفاعل مجاري كهربائية ٤٠٧

« السادس في ظهور مجاري الكهربائية بفعل المغناطيس ٤٠٩

« السابع في التلغراف ٤١١

« الثامن في اتمام الحركة الميكانيكية بواسطة المغناطيس الكهربائي ٤١٦

## الباب العاشر في النور

المقدمة في النور وبعض موضوعات تتعلق به ٤١٩

وجه

الفصل الاول في انعكاس النور ٤٣٨

• الثاني في انكسار النور ٤٥٤

• الثالث في البصر وآلتهِ التي هي العين ٤٨١

• الرابع في انحلال النور وما يتعلق بهِ ٤٨٩

• الخامس في قوس السحاب والهالة ٥٠٣

• السادس في الآلات البصرية ٥١٢

• السابع في تشرف النور والسطوح المخططة والصفائح الرقيقة ٥٢٩

• الفصل الثامن في الانكسار المزدوج والاستقطاب ٥٣٤

• التاسع في قولي السور ٥٤٣

## الباب الحادي عشر في الحرارة

الفصل الاول في الامتداد والترمومتر ٥٤٩

• الثاني ايصال الحرارة وفي الحرارة النوعية ٥٥٨

• الثالث في الحرارة الخفية والسائلية والتجميد والبخارية والغليان والتبلور ومصادر الحرارة ٥٧٣

الفصل الرابع في الآلة البخارية ٥٨٧

# فاتحة

الحمد لله الذي بقدرتهِ خلق ارواح العباد وجميع اصناف المواد . وجعل بحكمتهِ البديعة لكل صنفٍ منها طبيعة. والذي بجودتهِ انار جنان الانسان ليدرك بالعلم بعض الحكمة في اعمال المنّان . اما بعدُ فيقول العبد الفقير الى عفو ربهِ القدير اسعد الشدودي انهُ لما كانت الفلسفة الطبيعية من اجل العلوم نفعاً اذ بها ترى حكمة الخالق الحكيم بحسن نظام خلقهِ واتقان نواميسهِ الطبيعية وكمال غايات النظام وبها ترقى الصنائع وتزداد مخترعاتها المفيدة وكانت الكتب المؤلَّفة في هذا الفن في العربية قليلةً جدًّا وكان المقصود من انشاء المدرسة الكلية السورية الانجيلية التي أُنشئت في بيروت منذ نحو ست سنوات نشرَ جميع العلوم النافعة كلَّفني جناب الدكتور بلس رئيس المدرسة المذكورة اذ كنت اعلِّم فيها ان أُؤلِّف فيهِ كتابًا موافقًا لتعليم تلامذتها .

فالفت هذا الكتاب مستعينًا بحولهِ تعالى على حلّ عقدهِ وفك مشكلاتهِ العديدة اذ لا يخفى انهُ علم دقيق وقرارهُ عميق. وقد بذلت الجدَّ في التامل في موضوعاتهِ ومعاني عباراتهِ وطالعت مولفاتٍ مختلفة فيهِ باللغة الانكليزية مشهودًا لمؤلّفيها بالفضل والذكاء. وقد عزمتُ منذ بداءة تاليفهِ على ان اوضح كل ما اقرّرهُ من الاحكام والقواعد بتعليلٍ عقلي او ببرهانٍ هندسي لعلمي ان الانسان اذا عرف شيئًا يميل طبعًا الى معرفة اسبابهِ فقد قيل ان من عرف الحقائق فهو حكيم ومن عرف اسبابها فهو احكم ما لم يكن من الامور التي ليس في طاقة العقل البشري ادراك علتهِ كبعض القوانين الكهربائية او مما لا يناسب ذكر برهانهِ لطول البرهان وصعوبتهِ على تلاميذ يصرفون اربع سنواتٍ فقط لاكتساب اكثر انواع العلوم مع عدم اهميتهِ وذلك قلما يرى في الكتاب. وقد اجتهدت ايضًا ان اجعل عبارتهُ واضحة قريبة التناول موافقة أُسلوب العربية وذوق اهلها مجتنبًا فيهِ التعقيد والتطويل الممل والتقصير المخل فلذلك لم التزم الترجمة حرفيًا عن الانكليزية بل كنت اوضح بعض الامور التي لم اعثر عليها في كتب القوم التي حويتها واختصر او اطيل الكلام فيها بحسب مقتضى الحال. فجاء بحولهِ تعالى كتابًا مفيدًا حاويًا ما كان مهمًا من علم الطبيعة العميق

القرار. وقد قسمتهُ الى احد عشر بابًا وكل باب الى فصول وسميتهُ بالعروس البديعة في علم الطبيعة. فارجو مطالعيهِ العلماء اذا لحظوا شيئًا من السهو ان ينظروا اليهِ بعين المعذرة اذ كان الكمال لله وحده وان ينبهوني من فضلهم على ما يرونهُ من ذلك حتى اذا اقنعوني بهِ يصلح فيما ياتي وانا اسال الله تعالى ان يجعلهُ وسيلةً لانارة مطالعيه وارشادهم الى وفور اعتبار عزتهِ وتعظيم شانهِ تبارك وتعالى بما يطلعون عليهِ فيهِ من عجيب القدرة وحكمة العناية الصمدانية في وضعهِ النواميس الطبيعية الثابتة لغاياتٍ ضرورية مفيدة وسبيلاً لتحسين الصنائع وللاجتهاد في زيادة مخترعاتها اللذين هما علة نمو صوالح ورفاهة كل بلاد والله حسبي ونعم المسئول

تنبيهان. الاول قد استعملتُ في هذا الكتاب متم الزاوية بمعنى الفرق بين ٩٠° وبينها وكمالها للفرق بين ١٨٠° وبينها بحسب ما هما مستعملان في حساب المثلثات الخط. وذلك بخالف اصطلاح الهندسة المطبوعة في بيروت لان المتم فيها بمعني الكمال والكمال بمعنى المتم

الثاني ان هذه العلامة ∞ تقرأ يتغير كتغيُّر وبعض الاحيان الى غير نهاية. واما بقية العلامات كعلامة الجمع والمساواة وغيرها فهي كما في الحساب والجبر

# الباب الاول

## في الفلسفة والمادة وفيهِ مقدمة وثلثة فصول

### المقدمة

#### في تحديد العلم والفلسفة

١ العلم مطلقاً هو حصول صورة الشيء في العقل والفلسفة هي معرفة النواميس التي تستولي على الكون وقيل هي معرفة الاشياء بعللها. أمَّا الناموس فهو الطريقة غير المتغيرة التي بها يحكم الله على الكون. ويتَّخذ اساساً لكل العلوم انَّ الاسباب المتشابهة مسبَّباتها متشابهة وهذه الحقيقة مبنية على اختبارٍ عمومي. اما الكون فهو جميع المخلوقات سواءٌ كانت مادةً ام عقلاً. فعلم الفلسفة يُقسَم عموماً الى قسمين العلم العقليّ والعلم الماديّ اما العقل فهو ما يفتكر ويريد. فنعرف ضرورةً ان فينا شيئاً غريزيا تصدر عنهُ حركات اجسادنا لغايةٍ عن فكرٍ عند الارادة وذلك ما نسميهِ بالروح او العقل. واما العلم العقليّ فهو بحث العقل عن نفسهِ كالفلسفة العقلية وعن اعمالهِ كالفلسفة الادبية وعلم المنطق. اما المادة فهي ما يُدرَك

بواسطة الحواس الخمس. وبعض المواد ما يُدرَك بكل الحواس وآخر ما يُدرَك ببعضها ومن المواد ما يُدرَك بواحدة من الحواسِ فقط. فالهواءُ مثلاً لا يُشَمُّ ولا يُرى ولا يُذاق ولكنهُ يُلمَس ويُسمع صوتهُ والملح المحمول بالهواءِ البحري يُشَمُّ فقط لانهُ ذو دقائق صغيرة جدًّا لا تُلمَس ولا تُنظر منتشرةً في الهواءِ . واما العلم المادي فهو ما يُبحَث فيهِ عن النواميس التي تستولي على الكون المادي وهو الفلسفة الطبيعية. والمادَّة امَّا آليَّة او منتظمة واما غير آليَّة. اما الآليَّة فهي ما كان لكل جزءٍ من اجزائها وظيفة خاصة بهِ للحيوة والنمو لا يقوم جزءٌ آخر مقامهُ كمادة الحيوان والنبات وخلاف ذلك المادة غير الالية او غير المنتظمة كالحجر والهواءِ

٢ فبحسب ذلك تُقسَم الفلسفة الطبيعية الى قسمين وهما علم المادة الالية وهو فن الفسيولوجيًّا وعلم المادَّة غير الالية وهو الطبيعيات العمومية. والاول على قسمين فسيولوجيًّا حيوانية وفسيولوجيًّا نباتية وهما من متعلقات علم الحيوان والنبات. ثم ان المادة غير الالية تقسم الى قسمين سموية وارضية. فعلم الطبيعيات العمومية يقسم بحسب ذلك الى قسمين ما يبحث عن الاجرام السموية منها الارض برمتها ويقال لهُ علم الهيئة او علم الفلك وما يبحث عن الاجسام الارضية ويقال لهُ علم الطبيعيات الارضية

ثم ان الطبيعيات الارضيّة نقسم الى قسمين ايضاً الاول ما يبحث عن خصائص المواد العمومية ويقال لهُ الطبيعيات المحضة او الطبيعيات والثاني ما يبحث عن دقائق الاجسام من حيث حلها وتركيبها وعن طبائع العناصر المركبة منها تلك الدقائق ويقال لهُ علم الكيميا. اما الاول وهو علم الطبيعيات فهو موضوع البحث في هذا الكتاب

وعدا عن الانواع المذكورة التي تُسمى علوماً محضة انواع أُخر من العلوم جارية على اثنين او اكثر منها. من ذلك علم الجيولوجيا وهو تاريخ الكتل المعدنية التي منها تركبت الارض وبقايا المواد الالية الموجودة في تلك الكتل. ففي البحث عن هذا العلم يُحتاج الى معرفة الكيميا والفسيولوجيا وغيرها وهذه يقال لها علوم ممتزجة

# الفصل الاول

## في الحدود والخصائص العمومية للمادّة

٢ ان المادّة وقد مرّ تعريفها نقسم الى قسمين جامدة وسائلة. اما الجامدة فهي التي تلتصق دقائقها بقوةٍ تحفظ هيئتها على حالها ما لم تعترِها قوة اخرى فوق ثقلها. فاذا وضعنا قطعة حديدٍ او

خشب على سطحٍ لا تتغير هيئتها بواسطة ثقلها

اما السائلة فهي ما تلتصق دقائقها التصاقًا ضعيفًا بقوةٍ لا تمنع ثقلَ دقائقها عن تغييرهِ هيئتها. فمقدار من الماء مثلاً مصبوب على سطحٍ يفترش على وجه ذلك السطح بسبب ثقلهِ . ويدخل في هذا الحد الماء والزيوت والزيبق وغيرها والمادة الهوائية كالبخار والهواء وانواع الغازات كالهيدروجين وغيرهِ

تنبيه . لا يدخل في هذا الحد ما يتحرك بسهولةٍ حركة شبيهة بحركة السائل كالرمل وما اشبه لانهُ اذا اخذنا كل ذرَّة منهُ على حدةٍ نجد خصائصها موافقة لخصائص الصخور والجاذبية الالتصاقية فيها تحفظ هيئتها بخلاف المادة السائلة

٤ اما المادة الهوائية فهي ما تلتصق دقائقها التصاقًا ضعيفًا جدًّا واذا انضغطت تميل الى الانتفاش حتى ان مقدارًا قليلاً من الغازات ميل للاتساع الى ان يملأَ فسحة واسعة ويحفظ في سعتهِ بواسطة الكبس بثقل الهواء الاعلى كما يتضح ذلك فيما ياتي

ويتبين ذلك من انهُ اذا اخذنا كيسًا ضابطًا للهواء وسددناهُ بحنفية سدًّا محكمًا بحيث يبقى فيهِ قليلٌ من الهواء ووضعناهُ في قابلةٍ واخرجنا الهواء من القابلة بالمفرغة نرى الكيس ينتفخ كالزق المنفوخ من اتساع الهواء داخلهُ وقد تكون احيانًا مادة واحدة على كلٍّ من هذه الثلاث الحالات كالجليد والماء والبخار واما تغييرها فحادث عن اختلاف درجة الحرارة كما سياتي

٥ لكل مادة سواءٌ كانت جامدة ام سائلة ام غازيّة خصائص لازمة لا تنفك عنها وهي الامتداد وعدم التداخل والاستمرار والتجزؤ والمسامية والكثافة والانضغاط والتمدد والمرونة والجاذبية

٦ اما الامتداد فهو الطول والعرض والعمق . فلا نقدر ان نتصور مادةً ما بدون تصور هذه الابعاد الثلاثة. فيلزم من ذلك ان كل جسم يشغل حيزًا من الفراغ وان لهُ هيئة ما. ومعنى الحيّز الفسحة التي يملأُها الجسم

٧ اما عدم التداخل فهو عدم امكان اشغال جسمين معًا حيزًا واحدًا في وقتٍ واحد

فبحسب المتعارف يقال ان جسمًا قد اخترق اخر او تداخل فيهِ كما اذا اخترقت الابرة القماش والمسمار الخشب وهلمّ جرًّا . ولكن الصواب ان الابرة لم تنفذ في القماش بل قد اتخذت حيزًا من الخلاء بتبعيدها خيطانهُ عن بعضها ودخولها بينها وكذلك يقال في المسمار والخشب فلا تشغل الابرة والقماش حيزًا واحدًا في وقتٍ واحد ولا المسمار والخشب . فلا يمكن دقيقةٌ من المادة ان تداخل في اخرى بل انما يمكنها ان تدفعها من مكانها وتملأَهُ . وهذه الخاصة صفة لازمة للمادة توضح بجملة طرقٍ نذكر بعضها . فاذا اخذنا قابلة من زجاج مفتوحة من جهة واحدة ومسدودة من الجهة الاخرى وغطسنا الطرف المفتوح من القابلة في الماء فالماء لا يصعد في القابلة لكونها ملآنة هواءً وعدم صعود الماء في القابلة يبان جليًّا من وضع قطعة قرطاس على وجه الماء ولكن اذا فتحنا الفوهة المسدودة من القابلة يصعد الماء فيها حالاً

وعلى هذا الاسلوب قد اصطُنع ناقوس الغواصين وهو ناقوس كبير من خشب او معدن له نوافذ مسدودة بزجاج لدخول الضوء ولاجل حفظ حياة من كان داخلهُ يُدخَل اليهِ بواسطة طلمبا هواء جديد ويخرج العتيق فينزل بهِ الفعلة الى عمق البحر لاجل التفتيش على الاشياء الثمينة واتمام بعض المصالح كالبناء وغيرهِ

٨ واما الاستمرار فهو بقاء الجسم على حالتهِ من السكون او الحركة في جهة واحدة على خط مستقيم بسرعةٍ واحدة. فاذا كان جسمٌ ساكنًا فلا قوة لهُ ان يحرك نفسهُ او اذا كان متحركًا فلا قوة لهُ ان يغير معدّل حركتهِ او الجهة المتحرك فيها . اذًا ان كان جسمٌ ساكنًا يستمرُّ ساكنًا الى الابد او متحركًا فانهُ يتحرك دائمًا في خط مستقيم بسرعتهِ الاولى حتى تفعل بهِ قوة ما خارجة فتغير حال سكونهِ او حركتهِ

ان سبب عدم دوام الاجسام متحركةً في خطوطٍ مستقيمة اذا حُرِّكت هو انهُ تفعل بها دائمًا قواتٌ تغير حالة حركتها . فاذا رُمي حجرٌ مثلاً على جهة افقية من اليد فضلاً عن مقاومة الهواء لهُ يميل دائمًا الى اسفل بجاذبية الارض ويسير في خط منحنٍ حتى يصل اخيرًا الى الارض. واذا رُمي الى فوق يصير اخيرًا الى السكون بمقاومة الهواء والجاذبية لهُ وعند ذلك يرجع بالجاذبية. ولولا الجاذبية ومقاومة الهواء لاستمرَّ ساريًا على حركتهِ الى الابد ولما عاد الى الارض مطلقًا . وقد توضح عدة امور مالوفة بمبدا الاستمرار. فاذا كانت عربابة متحركة مثلاً ووقفت بغتة فالمواد غير المرتبطة فيها ترتمي الى قدام وذلك لانها تميل الى البقاء على الحركة التي كانت عليها . كذلك اذا كان رجل راكضًا وعثرت رجلهُ بحجر فاستمرار الجزء الاعلى من جسدهِ

يميل بهِ الى قدام فيقع الى الارض. ولنفس هذا السبب اذا وثَبَ انسان من كارةٍ متحركة يكون في خطر السقوط الى جهة مسير تلك الكارة . ثم ان استمرار الشاكوش هو الذي يجعلهُ ان يغلب على مقاومة الخشب المسمار الخارق فيهِ . وفي دهورة الجسور الفعل الاعظم لزيادة قوة الاستمرار بالجاذبية حال كونها منهوية نزولاً

واذا وضعنا طابةً من عاج على كرتونة ملساء موضوعة على راس خشبةٍ يمكن ان ندفع الكرتونة من تحتها بضربة سريعة بدون تحريك الطابة لسبب استمرارها على حالة السكون . ومثل ذلك ترجيع الفران الراحة من تحت الرغيف بسرعة عند وضعهِ في الفرن فيستقر في مكانهِ وادخالهُ اياها تحتهُ بسرعةٍ لكي لا يزول عند اخراجهِ اياهُ . واذا حرّك وعاء اسطواني محتويًا زيبقًا او سائلاً اخر فالزيبق يستمر متحركًا بعد وقوف الوعاء

واذا اراد رجل ان يثِب من مكان بقوةٍ الى ابعد ما يمكن يركض من بعيد لكي يكتسب عند وصولهِ الى المكان قوةً من الاستمرار فوق قوتهِ

٩ اما التجزوء فهو الخاصة التي بواسطتها يمكن ان ينقسم الجسم الى اقسام وكل الاجسام تقبل انقساماً على انقسام وفي احوال كثيرة الاجزاء التي تحصل هي على غاية الدقة حتى لا تكاد تُدرك بالوهم

الامثلة الاتية ترينا التصغر الكلي لدقائق المادة . فان قمحة واحدة من القرمز تلون ونًا يشعر بهِ رطلاً من الماء وهذا الرطل من الماء يقسم الى مليون من لنقط واذا افترضنا ان كل نقطة تحتوي بالاقل عشر دقائق ن القرمز فتكون القمحة من القرمز قد انقسمت الى عشرة ملايين من دقائق كل واحدة منها ظاهرة للعيان . ثم ان المكرسكوب يظهر لنا في ض انواع الخضرة حيوانات صغيرة جدًا بحيث عدة مئات منها يمكنها ، تسبح في النقطة من الماء التي تستقر على راس ابرة . وهذه الحيوانات

الصغيرة كلها ابو الحركة حتى يقترب بعضها بعضًا ولذلك لها اعضاء للحركة والهضم وما اشبه فلا بد ان تكون الدقائق المركبة منها تلك الاعضاء دقيقة جدًا

ان قمحة من المسك تنشر رائحتها الناتجة من انتشار دقائقها في الهواء في اوضة مدة سنين مع كون نقصانها في الوزن قلما يشعر به . فهذا يرينا ان دقائق المسك المتضوعة دائمًا للشم هي ذات صغر لا يشعر به

ان دم الحيوانات مركب من ذرات دقيقة حمراء عائمة في سائل كالمصل . ونقطة واحدة من دم الانسان ليست اعظم من طبعة دبوس صغير تحتوي على الاقل خمسين الفًا منها . وفي حيوانات كثيرة هذه الذرات اصغر من ذلك . ففي غزال المسك مثلاً نقطة واحدة من الدم بمقدار طبعة الدبوس تحتوي على الاقل مليونًا منها

ايضًا يمكن ان يطلى شريط من الفضة مسحوب دقيقًا بمقدار من الذهب حتى ان الذهب الكاسي قدمًا من هذا الشريط يزن اقل من $\frac{١}{٦٠٠٠}$ من قمحة . وقيراط محتوٍ على $\frac{١}{٧٢٠٠٠}$ من قمحة يمكن ان تنقسم الى مئة قسم متساوية بائنة واضحًا للعيان وكل قسم محتوٍ بالنتيجة على $\frac{١}{٧٢٠٠٠٠}$ من قمحة ذهب . ثم بالمكرسكوب المعظم خمس مئة مرة كلٌّ من هذه القطع الدقيقة يمكن ان يقسم ايضًا الى خمس مئة قسم اصغر لكلٍّ منها نفس الحجم الاول الظاهر للعيان والذهب على كلٍّ مع كون لامعيته الاصلية ولونه وخصائصه الكيموية لم تتغير يدل على $\frac{١}{٣٦٠٠٠٠٠٠٠}$ من الكمية الاصلية . ولكن دقة هذه الدقائق الصغيرة جدًا كما بينا تفوقها دقة الحيوانات الصغيرة الموجودة في الكائنات الارضية . وقد بين ذلك العلاَّمة البروسياني هرنبرج . فقد اوضح ان انواعًا كثيرة من هذه الحيوانات ملايين منها لا تساوي حبة رمل مقدارًا والوف تسبح في ثقب الابرة ومياه

الدنيا ملآنة منها وكذلك مقدارٌ عظيم منها موجود في الهواء

ثم ان هياكل اجسام هذه الحيوانات قد يتألف منها مقدار عظيم من صفائح صخرية سمكها عدة اقدام وتمتد الى مئات من الاميال . فاللوح الحجري الاملس الموجود في بيلن من مدن بروسيا مثلاً يحتوي في قيراط مكعب منهُ ٤١٠٠٠ مليون منها . ثم اذا كان قيراط مكعب من هذا الحجر يتضمن ٢٢٠ قمحة فلا بدَّ ان يكون في كل قمحة ١٨٧ مليون هيكل . وهذه الحيوانات لها اعضاء الهضم والتوليد جهاز دوري كالحيوانات الكبيرة . وهذه الاعضاء مركبة من عناصر لا تحصى من الاوكسجين والايدروجين وخلافهما

ايضًا قمحة من النحاس الاحمر مذوبة في الحامض النيتريك مضاف اليهِ قليل من ماء الامونيا تلوّن ٣٩٢ قيراطًا مكعبًا من الماء . وكل قيراط من الماء يمكن ان ينقسم الى مليون قسم وكلٌّ من هذه الاقسام واضح للعيان . فاذن قمحة من النحاس قد تنقسم الى ٣٩٢ مليون قسم

ان مئة قيراط مكعب من الماء مذوب فيها قليل من ملح الطعام تتعكر ان وضعنا فيها $\frac{1}{100000}$ من قيراط مكعب من الفضة المذوبة في حامض النيتريك . فان كل دقيقة من الفضة تكون $\frac{1}{10000000000}$ من قيراط مكعب

ولكي نعين التلميذ على ادراك كمية ١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ نقول انهُ اذا عدَّ في كل ثانية واحدًا واشتغل نهارًا وليلاً يلزمهُ واحد وثلاثين الف وستماية وثمانية وسبعين سنة لكي يكمل عدَّ هذا العدد

١٠ اما المسامية فهي وجود الابعاد او الاخلية الكائنة بين دقائق كل مادة . وهذه الخاصة لازمة للمواد كباقي الخواص لانهُ مهما كان الجسم صلبًا وكثيفًا فلا بد ان تكون دقائقهُ مبتعدة

بعضها عن بعضها وان يكن ذلك البعد غير محسوس في بعض الاجسام الصلبة . وتلك الاخلية بين الدقائق تسمى مسام. فالمسام منها محسوسة وهي ما يمكن ان تجتاز السائلات فيها ومنها غير محسوسة وهي التي لا تدخلها سوى الكهربائية والحرارة والنور

تتبين مسامية الخشب والجلد بهذا الامتحان وهي اذا اخذنا قابلة من زجاج ذات فوهة صغيرة من اعلاها ووضعناها على مفرغة الهواء ووضعنا مقدارًا من الزيبق على رقعة من الجلد ضابطة على فوهة القابلة واستخرجنا الهواء من القابلة بواسطة المفرغة فالزيبق يخرق الجلد . وكذلك اذا سددنا الفوهة بقطعة خشب مجوفة قليلاً من اعلاها لوضع الزيبق ووضعنا قليلاً منهُ فيها واستخرجنا الهواء يخرق الزيبق الخشب

١١ وبواسطة المسام يحصل التنفيس الجلدي والعرق . وقد شوهد بالنظارة المعظمة في خط طول قيراط على البشرة اكثر من الف من هذه المسام فيكون في طول القدم اكثر من اثني عشر الفًا وفي القدم المربع نحو ١٤٤٠٠٠٠٠ ومن حيث ان مساحة الجسم البشري المتوسط هي ١٤ قدمًا مربعًا تكون المسام الموجودة في الجسم نحو ٢٠١٦٠٠٠٠٠

١٢ كذلك اذا وضعنا بيضة في كاس ماء وعرض الكاس لفعل مفرغة الهواء بوضعهِ ضمن قابلة من زجاج على صحن المفرغة فعند تفريغ الهواء يشاهد صعود فقاقيع الهواء الخارجة من مسام القشرة نافذة في الماء وهذا الهواء يكون قد دخل قبلاً الى البيضة من خارج مارًّا بمسام قشرتها وهو سبب اسراع فسادها . ودليلهُ انهُ لو طليت بصمغ او مادة اخرى لزجة لكي نسدَّ مسامها وجف عليها الطلا لمكثت على جودتها زمانًا طويلاً بل عدة سنين

١٣ قد بين بعض الطبيعيين من فلورنسا ان الذهب مسامي

ايضًا بالطريقة الاتية وهي انهُ ملأ كرة من ذهب مجوفة ضابطة ضبطًا تامًّا ماء ثمَّ ضغطها ضغطًا شديدًا فشوهد الماء مترشحًا على سطحها بصورة ندى. وقد كُرِّر هذا الامتحان بمعادن أُخر فظهرت هذه النتيجة عينها

ايضًا بسبب اتساع مسامية الخشب انواع كثيرة منهُ تمتص الرطوبة من الهواء بواسطة الجاذبية الشعرية التي سنوضحها فتنتفش ثم تنشف وتتشقق فلمداواة هذا المحذور تدهن الاخشاب بالزيت والمواد القلفونية لكي تمنع دخول الرطوبة اليها بواسطة سدّ مسامها

١٤ ثم بواسطة مسامية الخشب والجاذبية الشعرية قد اخترعت طريقة لتشقيق الصخور يستعملها القطاعون لهذه الغاية . وهي انهُ بعد حفر ثقب في الصخر بالمخل او فلع بالدبورة يدقّ فيهِ الخشب ليتزل نزولاً محكمًا ويصب عليهِ ماء او يترك ليتزل عليهِ ماء المطر ويبقى برهة فتدخل الرطوبة الى مسامهِ وينتفش فيشق الصخر

١٥ وقد اثبت بعض الطبيعيين مسامية السوائل بهذا الامتحان. فلو أُخذت زجاجة طويلة العنق ضيقتهُ وملئ ثلثها بالحامض الكبريتيك ثمَّ ثلثاها ماء ورُجّت صعدت فيها درجة الحرارة وبعد برودتها يشغل حجم السائلين المختلطين حيزًا اقل من الذي اشغلاهُ قبل الامتزاج كما يعرف من هبوط السائل في عنق القنينة ولكن اقوى آلات الضغط لا تصغر حجم السائلات الاَّ قليلاجدًا كما سياتي

١٦ اما الكثافة فهي عكس المسامية وهي اقتراب دقائق الاجسام بعضها الى بعض .ومقدار الكثافة هو بالنسبة الى مقدار المادة في حيز مفروض فكلما زادت كثافة جسمٍ زاد ثقلهُ فقطعة من الرصاص مثلاً ثقلها نحو سبع واربعين مرة ثقل قطعة فلين من

نفس حجمها ومقدار من الزيبق ثقله نحو اربع عشرة مرة ثقل مقدار من الماء من نفس حجمهِ فتكون كثافة الزيبق نحو اربع عشرة مرة كثافة الماء وهلمَّ جرًّا

١٧ اما الانضغاط فهو كون دقائق الاجسام قابلة التقريب بعضها الى بعضها بواسطة الكبس وغيرهِ. فاذا ضغط جسم تقترب دقائقهُ بعضها الى بعضها وبالنتيجة تضيق الفسحات او الاخلية الكائنة بينها فتضيق المسامية. وبهذه الخاصة تتبين المسامية لانهُ لولا وجودها لما امكن ضغط جسم . فالاسفنج والصمغ الهندي والفلين ولب السيسبان هي من الاجسام المنضغطة ويمكن ان يصغر حجمها بما يشعر بهِ بواسطة كبس الاصابع. واما السوائل فهي قليلة الانضغاط كما اشرنا . واما الغازات فهي اعظم الاجسام انضغاطًا وسياتي بسط الكلام عن ذلك عند الشرح عن السوائل والغازات

١٨ اما التمدد فهي خاصية قبول اتخاذ الجسم حجمًا اعظم تحت ظروف معلومة فهو عكس الانضغاط فاذا تمدد جسمٌ اتسعت مساميتهُ حال كونها تضيق بالانضغاط . والحرارة هي اعظم واسطة لتمدُّد الاجسام فبواسطتها تتحول السائلات الى غازات والجوامد الى سوايل. ولو كانت حرارة كافية لتحولت جميع الجوامد والسوائل الى غازات . فاذا ازدادت حرارة جسم يمتد

واذا نقصت ينضغطّ فيتقلص

وعلى هذه الخاصة تتم امور كثيرة مفيدة منها ما عُمل في فرنسا وهو انهم لما تحدّب بناء عظيم ذو طبقاتٍ من اسفله فعوضاً عن ان يهدموهُ ثقبوهُ على الجانبين اثقاباً متقابلة وادخلوا في الاثقاب قضباناً من حديد تمرُّ من جدار الى جدار ثم احموها وعند ذلك مكنوها بالجدران تمكيناً محكمًا قويًّا ثم تركوها لتبرد فتقلصت ورجعت الجدران الى استقامتها الاولى

١٩ كذلك تركيب طارة من حديد على عجلة مما يوضح هذه الخاصة فتصنع الطارة اصغر قليلاً من العجلة ولكن بواسطة الاحماء تتمدد حتى تُدخَل فيها وبعد ان تبرد تتقلص وتُضغَط ايضاً وتجذب كلَّ اجزاء العجلة معًا فتضبط بعضها على بعض

٢٠ واعلم ان الحرارة في جسم زيادتها بالنسبة الى تمددهِ ونقصانها بالنسبة الى ضغطهِ اي كلما تمدد قَبِل زيادة حرارة وكلما ضغِط نفث من حرارتهِ . وبذلك يعلّل عن احماء الكلس اذا مزج بالماء والحامض الكبريتيك اذا مزج بالماء ايضاً وعن عدم صعود حرارة الماء فوق درجة الغليان مع وجوب ذلك لبقاء الحرارة على حالها تحت وعاء الماء . وتعليل هذا الامر الاخير هو ان الماء عند وصولهِ الى درجة الغليان ياخذ بالتحوُّل الى بخار ولكون البخار الطف من الماء يمتص الحرارة التي تتزايد وهكذا الى ان يجف الماء ما لم ينحصر في وعاء ضابط فحينئذٍ تزيد درجة حرارتهِ عن الغليان

٢١ اما المرونة فهي خاصة بها تعود الاجسام الى صورتها وحجمها الاصليَّين بعد ضغطها او تمدُّدها . وجميع الاجسام مرنة وانما تتفاوت في درجة مرونتها فانصمغ الهندي والعاج

**وعظام الحيتان من الاجسام الاعظم مرونةً واما اللاقونة والدبغات فهي الاقل مرونةً .واعظم الاجسام مرونةً اسرعها عودًا الى حالتها الاولى**

اذا ضُغط الهواء فمرونته تميل ان تردهُ الى حجمهِ الاصلي. واذا لُوي زنبرك من فولاذ فمرونته تجذب الزنجير الذي يجذب الدواليب في الساعة فتحصل فيها الحركة . ثم اذا فُتل خيطٌ او حبل فمرونته تميل الى حلهِ. واذا مطَّ الصمغ الهندي فمرونته ترجعهُ الى طولهِ الاصلي . فنرى ان المرونة تظهر باربعة طرق مختلفة وهي الضغط والليّ والفتل والمطّ . وعلى كل حال المرونة مسببة عن تغيير وضع الجواهر الاصلي لانهُ اذا ضغط الهواء فبقوة التدافع بين جواهرهِ يميل الى التمدد . واذا لوي زنبرك فالجواهر في الجهة الخارجه تتمدد اذ تكون الداخلة قد انضغطت فيجذب الاولى وتدافع الثانية يميل الجسم الى العود الى صورتهِ الاصلية . ويعلل عن الفتل كما يعلل عن الليّ . واما المط فهو عكس الضغط اي انهُ بالجذب الناتج عن خاصة المرونة يميل الجسم الى الرجوع الى حالتهِ اذا مطَّ . والاجسام الاعظم مرونةً هي الغازات ثم الفولاذ اللين ثم عظام الحيتان ثم الصمغ الهندي ثم العاج ثم الزجاج الخ

اما مرونة العاج فتتضح من انهُ اذا لويت قطعة رقيقة منهُ ثم تركت لنفسها ترجع بالمرونة بسرعةٍ عظيمة فتجتاز مكانها الاصلي ثم ترجع بسرعة وتجتازهُ اقل. وهكذا ترتج ارتجاجات كثيرة قبل ان تسكن. وكذلك اذا أُخذ كرة صغيرة منهُ واسقطت من اعالي مختلفة على صفيحة رخام صقلة يفرش عليها زيت ليظهر عليها اثر مصادمة الكرة لها فانها تقفز تاركةً اثار دوائر على الصفيحة مساحة كلٍّ منها بالنسبة الى العلو الذي سقطت منهُ . وهكذا اذا ضربت الكرة باليد من علو واحد بقواتٍ مختلفة على الصفيحة.

فهذا الامتحان يري ان الكرة قد تسطحت بزخم صدمتها إذ سقطت على الصفيحة لانهُ كلما زاد الزخم بزيادة العلو الذي سقطت منهُ او بزيادة القوة من اليد اتسعت دائرة الاثر

ان المرونة في المواد نافعة لجملة امور منها تحريك الساعة وآلاتٍ أُخر بواسطة مرونة زنبركات الفولاذ كما مرَّ . ومنها امكان رمي السهام الى بعدٍ شاسع بواسطة مرونة القوس والاوتار او الخيطان والمرس . كذلك مرونة الاوتار هي التي تجعلها صالحة للآلات الموسيقية . ومرونة الهواء تجعلهُ موافقاً لاصطناع فرش ووسادات هوائية ومرونتهُ ايضاً تجعلهُ مناسباً لنقل الاصوات

٣٢ واعلم ان المرونة في الاجسام قد تكتسب زيادتها بواسطة الصناعة . فان النحاس اذا طُرِّق عليهِ وهو بارد يكتسب مرونة اكثر مما اذا كان حامياً . وكذلك اذا سُقي الفولاذ بواسطة احمائهِ وتبريدهِ في سائلٍ بسرعة وهو حامٍ تزيد مرونتهُ جدًّا فيصير سهل القصف بخلاف ما اذا ترك ليبرد تدريجاً بدون واسطة فان مرونتهُ حينئذٍ تنقص جدًّا . وكذلك تنقص المرونة بواسطة توالي ضرب صفيحة منهُ بقوة عظيمة على سطحٍ مستوٍ كسطح خشب او ماء بكل عرضها فان اهل السويس عند امتحان سيوف العساكر يجربونها بانهم يضربون نصالها مرات متوالية على الماء ثم يتاملون في مرونتها فما وجدوهُ فقد المرونة اكثر مما ينبغي طرحوهُ . ومما يقلل المرونة زيادة الحرارة . ومما لهُ مدخل في مرونة الاجسام اشكالها فان الطارة من مادةٍ معدنية اكثر مرونة من القرص والكرة المجوفة اكثر مرونة من المصمتة. ثم ان الاجسام الكثيرة المرونة الرقيقة لا تعود دفعةً الى اشكالها الاولى بسرعة بل بعد ارتجاجات كثيرة كما يرى في شعبتَي ملقط اذا قُرِّبتا الواحدة الى الاخرى وتركتا دفعةً واحدة وهلمَّ جرًّا

٣٣ اما الجاذبية فهي تلك القوة التي بها تقرب المواد

بعضها الى بعض . ومن مراقبات الاجسام الارضية والاجرام السموية يظهر ان الخالق قد جعلها ناموساً عمومياً لكل الكون المادي. ولذا تسمى بالجاذبية العامة فاذا وُضعت اجسام خفيفة لكي تطفو على وجه الماء وقُرِّبت بعضها الى بعض ترى بعضها يجذب البعض بقوة يشعَر بها. ومثل ذلك الفقاقيع التي تطفو على وجه الماء وكذلك اذا قُرِّب مركب الى اخر يخشى ان يتجاذبا فيتلاطما. واذا علقت رصاصة على جانب جبل يُرَى واضحاً ميلها عن الخط العمودي على سطح الارض الى جهة الجبل . ولاثبات الجاذبية العامة براهين وامثلة كثيرة غير هذه لايسعنا تعدادها . اما البحث عنها بالنظر الى الاجرام السموية فمن متعلقات علم الهيئة

٢٤ وهي بحسب اختلاف ظروفها تقسم الى خمسة اقسام جاذبية الالتصاق والجاذبية الشعرية والجاذبية الكيماوية والجاذبية المغناطيسية والكهربائية وجاذبية الثقل

اما جاذبية الالتصاق فهي تلك القوة التي بها تتحد جواهر المواد بعضها مع بعض على بعد غير محسوس سواء كانت تلك الجواهر من جنس واحد من المادة ام من اجناس مختلفة. وسواء كانت تلك القوة شديدة كالتي في الجوامد ام ضعيفة كالتي في السوائل

فالقوة التي بها تتحد جواهر كتلةٍ من حديد او من خشب او من حجر معًا هي جاذبية الالتصاق ويقال ان الجواهر ملتصقة بعضها ببعض. وبجاذبية الالتصاق ايضًا يلصق الغبار المتطاير في الهواء بالحيطان والسقوف . وبها ايضًا اذا كتبنا على لوحٍ من حجر او خشب بقلم من حجر او طباشير تلتصق المادة الخارجة من قلم الحجر او الطباشير بواسطة الاحتكاك باللوح تاركةً اثر كتابةٍ بحسب ما تحركها اليد . وبها ايضًا يتحد لوحان من خشب معًا بواسطة الغراء لوجود الجاذبية الالتصاقية بين جواهر الغراء والخشب

٣٥ واعلم انهُ من خواص الجاذبية الالتصاقية انها تجمع الجواهر بعضها الى بعضٍ بصورة كرة وذلك يتأتَّى في السوائل دون الجوامد لكون جواهر السوائل بتحرك بعضها على بعض بسهولةٍ لضعف الجاذبية الالتصاقية فيها والاجزاء البعدى من مجموع مادةٍ تنجذب من القربى الى نحو مركز الثقل حتى تصير على بعدٍ واحد منهُ مُنتَظِمَةً كرةً . ولذلك يتجمع الندى وينزل المطر بصور نقط مستديرة ويسقط الرصاص المذوَّب كذلك خردقات مستديرة اذا صُبَّ من غربالٍ يجعل وضعهُ على علو نحو مئتي قدمٍ عن الارض ليكون فرصة لتجمع الجواهر في الهواء قبل تجمدها بالبرودة كما يصنع الخردق. واما الجوامد فان جاذبية الالتصاق فيها قوية جدًا حتى لا يمكن تحركها وجمعها على صور مستديرة بل تاخذ الصورة التي اتفق انها وُضعت عليها

٣٦ اما الجاذبية الشعرية فهي تلك القوة التي بها يمتص جسم جامد ذو مسام سائلاً يلامسهُ كالجاذبية الشعرية في الاسفنج والسكر والخشب والحجر وقوة الجاذبية الشعرية في كلٍّ تكون بحسب مسامهِ . وسميت بالشعرية لكونها ظهرت اولاً في انابيب قضبان زجاج تشبه الشعر دقةً وسياتي بسط الكلام على ذلك في

## السائلات

٢٧ اما الجاذبية الكيمياوية فهي القوة التي بها تتحد جواهر عنصر مع جواهر عنصر آخر فينتج جسماً ثالثاً مختلف الصفات عن الاولين كما اذا اتحد الحامض النيتريك مع النحاس الاحمر فالناتج من اتحادهما ملح ازرق اللون يسمى نيترات النحاس والبحث عن هذه الجاذبية من متعلقات الكيميا

٢٨ اما الجاذبية المغناطيسية فهي القوة التي بها تقرّب قطعة من حديد ممغنطة قطعةً اخرى من حديد . والجاذبية الكهربائية هي القوة التي بها تقرّب اجسام مكهربة اجساماً أُخر وقد جعلناهما قسماً واحداً لعظم مشابهتهما وسياتي الكلام عن كلٍّ منهما وعن تغنط الحديد وتكهرب الاجسام بالتفصيل عند البحث عن الكهربائية

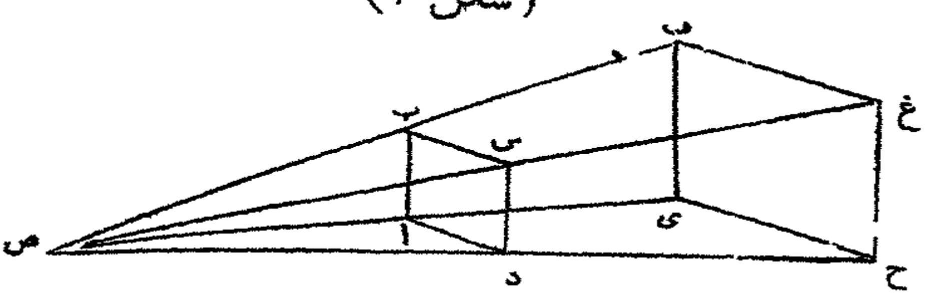
٢٩ اما جاذبية الثقل فهي القوة التي بها تجتذب الارض الاجسام الكائنة عليها الى نحو مركزها وذلك ليس لانهُ موجود في المركز قوة خصوصية ولكن لكون الارض كرة من شانها ان تجذب الى نحو مركزها اذ لجميع اجزائها فاعلية الجاذبية. وبحسب العرف يعبر عن هذه الجاذبية بلفظ الثقل فقط

٣٠ يقاس ثقل جسم بفعلهِ الميكانيكي مثل ليّ زنبرك وترجح ميزانين او قبان ويعرف ذلك بالعيارات وبالدرجات . ويقاس ايضاً ثقل اجسام ذات كثافة واحدة واشكال منتظمة باخذ مساحتها فاذا اخذنا وزن قيراط واحد مكعب من الرصاص ثم استعلمنا مساحة صفيحة رصاص بضرب طولها في عرضها في عمقها من القراريط وضربنا تلك المساحة في وزن القيراط يحصل من ذلك ثقلها

٣١ ان جاذبية الثقل لجسمٍ على ابعادٍ مختلفة من الارض فوق سطحها يتغير بالقلب كمربع البعد من مركزها

وذلك لان الجاذبية في الارض تفعل الى نحو المركز ونتوهمها تفعل على خطوط مستقيمة فان فرض ص مركز الارض كما في (شكل ا)

(شكل ا)




وا ب س د جسمًا تفعل عليهِ الجاذبية بخطوط مستقيمة فهو قاعدة الهرم ص ب س د ا . وافرض ان الهرم امتدّ الى ف غ ح ي ولنفرض ف غ ح ي جسماً موازيًا ب د ومثلهُ عمقًا فقوة الجاذبية التي جذبت الجسم ب د نفسها توزّعت على دقائقهِ بالسوية وعلى دقائق ف ح كذلك ولان العمق واحد تقاس قوة الجاذبية على السطوح . فاذًا تنقص كثافتها او قوتها عند النقطة ف عمّا عند ب كازدياد ف ح على ب د اي ان قوة الجاذبية عند ب : قوة الجاذبية عند ف :: ف ح : ب د . ولكن ف ح : ب د :: ي ف² : ا ب² :: ص ف² : ص ب² لان الشكلين متشابهان ويقطعان

خطوطًا متناسبة فاذاً قوة الجاذبية عند ب : قوة الجاذبية عند ف :
ص ف² : ص ب²

اي ان قوتي الجاذبية عند ب و ف هما بالقلب كمربعي البعدين عن المركز .

٣٢ فيبان من ذلك ان ثقل جسمٍ يتغير على أبعاد مختلفة فوق سطح الارض . فعلى مضاعف البعد من المركز او على علو نحو ٤٠٠٠ ميل فوق الارض قوة الجاذبية هي ربع التي على سطحها وجسمٌ مفروض هناك يزن ربع ما يزن على الارض . والقمر اذ كان بعدهُ من مركز الارض ٦٠ ضعف بعد المواد على سطحها من المركز فجاذبية الارض لهُ اقل منها للمواد على سطحها ٣٦٠٠ ضعف . ولكن الأبعاد المختلفة لاجسامٍ على الارض اختلافها لا يجعل فرقًا يُشعَر بهِ في الوزن . فعند علو نصف ميل النقصان لا يبلغ الى اكثر من نحو $\frac{١}{٤٠٠٠}$ من الثقل عند السطح . لانهُ ان فرض ر = نصف قطر الارض = ٤٠٠٠ ميل تقريبًا و ك علو الجسم و ث ثقلهُ عند سطح الارض و ثَ ثقلهُ عند علو ك فلنا

$$\text{ث : ثَ :: (ر + ك)}^٢\text{ : ر}^٢\text{ :: ر}^٢\text{ + ٢ رك + ك}^٢\text{ : ر}^٢$$

$$\text{و ث : ث − ثَ :: ر}^٢\text{ + ٢ رك + ك}^٢\text{ : ٢ رك + ك}^٢$$

اي $\text{ث − ثَ} = \frac{\text{ث (٢ رك + ك}^٢\text{)}}{\text{ر}^٢\text{ + ٢ رك + ك}^٢}$ ولكن اذ كان ك جزءًا صغيرًا من ر فيمكن اهمال ك² من العبارة اذاً

$$\text{ث − ثَ} = \frac{\text{ث × ٢ ك}}{\text{ر + ٢ ك}}$$

ليكن ك نصف ميل فاذاً $\frac{\text{ث × ١}}{\text{٤٠٠٠ + ١}} = \frac{١}{٤٠٠١}$ من كل الثقل . او ان الجسم يقل وزنهُ عند علو نصف ميلٍ عما على سطح الارض بمقدار $\frac{١}{٤٠٠١}$ منهُ

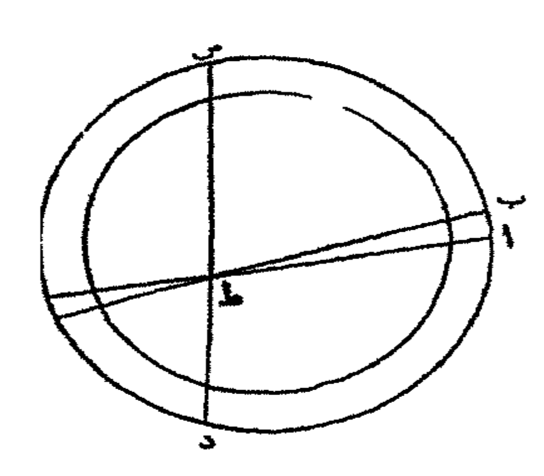
مما مرَّ ينتج لنا ان نسبة الجاذبية الى البعد يدل عليها بهذه العبارة اذا فرضنا ج الجاذبية و ب البعد وهي ج ∞ $\frac{١}{\text{ب}^٢}$ . ولنفرض ق مقدار

المادة وانها تتغير في جسم ثانٍ وان جاذبية الجسم الثاني ∞ غ فبما ان المادة تتغير كالجاذبية يقتضي ضربها في المادة فتكون ج ق ∞ غ فاذاً غ ∞ ق/ب² اي ان الجاذبية الى نحو الارض تتغير كجرم الجسم بالاستقامة وكمربع البعد من الارض بالقلب او كالمادة على مربع البعد باعتبار جسمين

٣٣ كتلة موضوعة داخل كرة مجوفة ذات كثافةٍ واحدة وعمق واحدٍ تنجذب بالسوية الى كل الجهات فتبقى ساكنة

لتكن الكتلة ط كما في (شكل ٢) في نقطةٍ داخل الكرة المجوفة ا ب س د. ارسم ا ط اَ و ب ط بَ حتى يكون قوسا ا ب و اَ بَ صغيرين جداً وتوهم الرسم قطعاً يمرُّ في مركز الكرة ومحور المخروطين اللذين يرسمان بدوران خطي ط ب و ط بَ مخرجين فتكون ا ب اَ بَ حينئذٍ المحورين الاطولين من الاهليلجيين الصغيرين اللذين هما قاعدتا المخروطين واللذين يجوز ان

(شكل ٢)

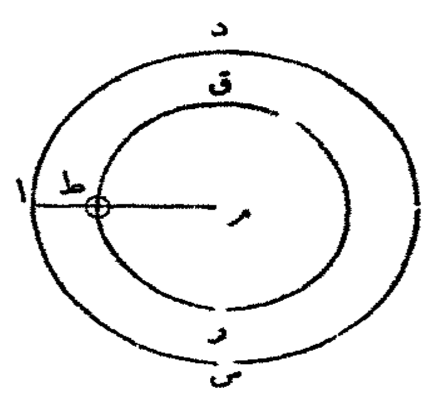



تتوهما سطحين مستويين لصغرهما على الكرة . فمن حيث ان الزاويتين المتقاطعتين عند ط هما متساويتان وزاوية ا ب ط ∞ بَ اَ ط لكونهما في قطعة واحدة فالمثلثان متشابهان فقاعدتا المخروطين اهليلجيان متشابهان اذ كانا قطعي مخروطين متشابهين لها ميل متساوٍ على الجانبين وبمشابهة المثلثين ا ط² : ط بَ² :: ا بَ² : اَ بَ² . فلتدل ق على مادة قاعدة المخروط ا ط ب و قَ على قاعدة المخروط الاخر فلان الاهليلجيات بعضها الى بعض كمربعات محاورها الطولى والمادة تقاس على السطوح هنا

لكون العمق واحداً تكون ق : قَ :: ١ ط^٢ : ط بَ^٢ او $\frac{ق}{ا ط^{٢}} = \frac{قَ}{ط بَ^{٢}}$
ولكن $\frac{ق}{ا ط^{٢}}$ و $\frac{قَ}{ط بَ^{٢}}$ يدلان على الجاذبيتين للقاعدة الكبرى والصغرى ( رقم ٢٣ ) ولكونهما متساويتين فالكتلة تجذب بالسوية من كل الاجزاء المتقابلة من الكرة المجوفة

٢٤ الجاذبية داخل كرة مصمتة تتغير كالبعد من المركز وبالنتيجة الثقل يتغير كذلك اذا كان كل الكرة على كثافة واحدة

لتكن ط كتلة (شكل ٢) داخل كرة مصمتة ا د س وافرض البعد من المركز = ب . فبحسب ( رقم ٢٣ ) الكرة المجوفة الخارجة عنها ا د ر لا توثر فيها بل تجذبها فقط الكرة ط ر ق . لتدل ق على مقدار هذه الكرة فكما مرّ الجاذبية تتغير مثل $\frac{ق}{ب^{٢}}$ . ولكن ق $\propto$ ب^٣ فاذاً ج $\propto \frac{ب^{٣}}{ب^{٢}} \propto$ ب . فاذاً اذا حسبنا الارض كرةً تامة وذات كثافةٍ تامة



(شكل ٢)

مع انها ليست كذلك بل تقريباً فجسم عند عمق الف ميل يزن ثلاثة ارباع ما يزن عند السطح . وعند الفي ميل يزن نصف ولا وزن له عند المركز

فلو ثقبت الارض من جانب الى جانب وأُسقط جسم من ا مثلاً تاخذ جاذبية ثقله بالتناقص الى ان يصل الى م المركز فتتلاشى هناك ولكن بالاستمرار يجتاز المركز ويبقى متحركاً الى الجانب الاخر من الارض ومن المركز تاخذ جاذبيته بالتزايد الى ان تتلاشى قوة الاستمرار هناك فيرجع في جهة المركز الى ا بالجاذبية والاستمرار ويبقى هكذا ذهاباً واياباً الى ما شاء الله

٣٥ الثقل على سطوح كراتٍ ذات كثافة واحدة يتغير كانصاف اقطار الكرات

برهان ذلك . ليكن ر نصف قطر الكرة و ق مقدار مادتها ثم لان ج ∞ $\frac{ق}{ر^2}$ ففي هذه الحال تتغير مثل $\frac{ر^3}{ر^2}$ ∞ ر . فاذا كان سياران من كثافةٍ واحدةٍ فثقل الاجسام عليها كانصاف اقطارها او كاقطارها ولذلك الجسم الذي يزن على الارض رطلاً يزن على القمر خمس اوقية لان قطر الارض ٦٠ مرة قطر القمر

## سوالات للتمرين

س ١ ما ثقل رطل علوهُ ٨٠٠٠ ميل عن سطح الارض

ج ١$\frac{١}{٢}$ اوقية

س ٢ كم يصير حجر ثقلهُ قنطاران اذا علي الف ميل عن سطح الارض

ج ١٢٨ رطلاً

س ٣ كم يقتضي ان يعلو رطل عن سطح الارض لكي يكون وزنهُ اوقية وثلث

ج ٨٠٠٠ ميل

س ٤ قال رجل نحيف ثقلهُ ١٢ رطلاً لاخر سمين ثقلهُ ٣٦ رطلاً اصعد الى فوق لكي نتساوى في الوزن فاجابهُ السمين انزل انت الى تحت سطح الارض ١٠٠٠ ميل وانا اصعد الى ان نتساوى في الوزن . فكم يقتضي ان يصعد السمين لكي يتساويا اذا نزل النحيف ١٠٠٠ ميل وكم يكون البعد بينهما

ج يقتضي أن يصعد السمين ٢٠٠٠ ميل والبعد بينهما ٥٠٠٠ ميل

س ٥ كم تخسر صخرة ثقلها ٢٢٤ قنطارًا عند سطح البحر اذا رُفعت الى

جمل علوهُ خمسة اميال

ج ٥٠٠٨٩٥٢ رطلاً

س٦ كم يزيد ثقل جسمٍ عند القطبين ثقلهُ رطل عند خط الاستواء

٣٦ لا يخفى ان جاذبية الالتصاق والجاذبية الشعرية صادرتان عن الجاذبية العمومية ليس الاَّ . لانهُ كلما قربت جواهر الاجسام بعضها الى بعض قويت الجاذبية العامة فيها فتزيد قوة الالتصاق ولا قوة للجاذبية العامة اذا كانت الجواهر بعيدةً بعضها عن بعض لصغرها. وسبب عدم امكاننا ان نجعل قوة الالتصاق بين اجسام متفرقة أنهُ لا يمكنا ان نقربها بعضها الى بعض حتى يصير البعد بين جواهرها غير محسوس كما كانت قبلاً. ودليلهُ أنّا اذا جمعنا بين لوحي زجاج مستويين املسين بواسطة سائلٍ يحمل احدهما الاخر بقوة الالتصاق . وكذلك اذا كان للجسم مسام وغُمس في سائل فالجاذبية العامة في جواهر السطوح داخل المسام التي تجذب السائل الى جهاتٍ متقابلة ترفعهُ الى فوق وجههِ. واذا اعترض لماذا اذاً لا يرتفع السائل في الانابيب الثخينة بمقدار الدقيقة فالجواب ان فعل الجذب ناتج من جواهر الانابيب الذي يقاس فعلهُ على السطوح داخل الانابيب لكونها ذات عمق واحد. والسطوح يُعرف مقدارها بضرب الدائر الاسفل في العلو الذي فعلت الجاذبية منهُ وانما السائل داخلها مجسم يقتضي لمعرفتهِ ان يضرّب علوهُ في الدائر الاسفل والحاصل في نصف نصف قطر الدائر فالسائل والحالةُ هذه يتغير بنسبة اعظم من نسبة السطوح بعضها الى بعض فتضعف الجاذبية بزيادة ثخن الانابيب ويهبط السائل . ومثلما يرتفع الماء في الانابيب يرتفع بين سطحي مادتين احداهما قريبة الى الاخرى كما اذا قربنا لوحي زجاج احدهما الى الاخر وغمسناهما في الماء . وذلك دليل على ان الفعل للجاذبية العامة وليس

للانابيب الشعرية •

واما الجاذبية المغنطيسية والكهربائية والكيماوية فلعل الحرارة والكهربائية واسباب اخر لا نعرفها قد اثرت في المواد والعناصر وزادت الجاذبية العامة او قللتها فصار المغنطيس يجذب الحديد بقوة ظاهرة والمواد المكهربة تجذب ما كان قربها من المواد الخفيفة وصار لبعض العناصر الفة لواحد اقوى مما لاخر اولواحد دون اخر

فمرجع الجميع اذن الى الجاذبية العامة وانما باسباب القرب والبعد والحرارة والكهربائية واسباب أُخر قد تنوعت كما مرَّ. فسبحان من توَّج جميع أجرام الكون المادي بهذه الخاصية المعتبره لاجل اتمام مقاصد عديدة مفيدة معتبرة كابقاء السيارة منها تدور حول الشمس في حركتها السنوية وتثبيت المواد على سطوحها في حركتها اليومية مع انهُ لولا الجاذبية لتحركت السيارة والمواد با لاستمرار في خط مستقيم وفرّت الاولى عن الشمس والثانية عن الاولى

# الفصل الثاني

## في الثقل النوعي

٣٧ الاجسام منها ما هو ثقيل ومنها ما هو خفيف وهذان اللفظان نسبيان اعني انهُ لا يحكم بخفة جسم ما لم يتصور عكسهُ الاثقل منهُ ولا بثقلهِ كذلك. وطريقة قياس الثقيل على الخفيف انهُ يفرض لهما حجمٌ واحد او مساحة واحدة ويحكم ان جسمًا من جنسٍ ما هو

أثقل من اخر من جنس اخر من نفس حجمهِ. والامر واضح ان الاثقلية والاخفية يتوقفان على الكثافة واللطافة لكون الدقائق الاكثف اي المنضغطة على بعضها بزيادة تزيد على دقائق جسم لطيف في حجم واحد بتشغيل الحيز بزيادة. وفضلاً عن الثقل النسبي المرقوم لكل جسم ثقل خصوصي يعتبر لهُ بدون مقابلتهِ مع غيرهِ. فالثقل ضربان ثقل مطلق وهو ثقل الجسم الحقيقي بقطع النظر عن حجمهِ. وثقل نسبي ويقال لهُ نوعي وهو ثقل جسم ما بالنظر الى اخر من نفس حجمهِ. مثالهُ الثقل المطلق لرطل ذهب هو كمقدار الثقل المطلق لرطل فلين لانهما يتساويان في الميزان. ولكن الثقل النوعي للذهب بالنسبة الى الفلين نحو ٦٦، ٨٠ اعني ان قطعة ذهب ثقلها ٦٦، ٨٠ مرة ثقل قطعة من فلين من نفس حجمها. وسمي بالنوعي لكونهِ ينظر فيهِ الى ثقل نوع بالنسبة الى نوعٍ اخر كالذهب والفلين

٣٨ انهُ لتعيين الثقل النوعي لكل نوع مادة يقتضي ان يوخذ نوع منها اوليًّا يقاس عليهِ جميع المواد. فقد اصطلحوا على جعل الماء المقطر اوليًّا لكل الجوامد والسائلات والهواء الفلكي الناشف اوليًّا لجميع الغازات. وسنضع جدولاً نعيّن بهِ الثقل النوعي لاكثر المواد والعناصر المشهورة حاسبين ثقل الماء واحدًا بالنسبة الى الجوامد والسوائل من ذات حجم للماء. والهواء الفلكي واحدًا بالنسبة الى الغازات كذلك لكونهما اوليين كما مر. وقد استعملوا الماء قياسًا للثقل النوعي لكون التوصل الى ذلك بواسطتهِ اسهل اذ يمكننا بسهولة

ان نستقطر الصافي منه الذي لا يتغير ثقلهُ. وايضًا لكونهِ يسهل اخذ ثقل اي جسم من نفس حجمهِ تمامًا بواسطة تغطيسهِ فيهِ بدون ادنى غلط كما سياتي بخلاف ما اذا استعملنا غيرهُ فانهُ يلزمنا استعمال وسائط مستصعبة جدًّا حينئذٍ لاجل مساواة الحجم بكل تدقيق

٣٩ اذا غُمس جسم في الماء ينقص وزنهُ داخل الماء عن وزنهِ خارجًا بمقدار وزن حجم من الماء يساوي حجم ذلك الجسم المغموس تمامًا. وذلك لان المقدار من الماء المساوي لحجم الجسم المذكور الذي ملأ الآن الجسم حيزهُ كان عائمًا في الماء قبل محمولاً فيهِ بواسطة كبس دقائق الماء عليهِ من اسفل وهذا الكبس نفسهُ فاعلٌ على الجسم المغموس وبالنتيجة يخففهُ بمقدار ثقل الماء المساوي لحجمه. فمن حيث ان الجسم المرقوم اثقل من مقدارٍ من الماء مساوٍ لحجمهِ فجاذبية الثقل تغلب على كبس الماء ويصير ثقلهُ فيهِ بمقدار الزيادة فيهبط ويغرق. ولكن اذا كان الجسم المغموس في الماء مساويًا لهُ في الثقل النوعي فانهُ يعوم داخلهُ فلا يطفو على وجههِ ولا يغرق لكون كبس الماء قد ساوى قوة الجاذبية. وانما اذا كان ثقلهُ النوعي اخف من الماء يغلب ضغطهُ على جاذبية الجسم فيحملهُ ويعوم على وجههِ. فسبب غرق بعض الاجسام في الماء اذًا دون البعض الاخر هو ان الذي ثقلهُ النوعي زيد على الماء يغرق والاخف يطفو على وجههِ والمساوي لهُ يعوم داخلهُ لما مرّ

٤٠ وعلى هذا الناموس المذكور تبنى هذه القاعدة لاستعلام الثقل النوعي للجوامد الاثقل من الماء بالنظر الى الماء المقطر وهي. زن الجسم في الهواء ثم زنهُ في الماء بتعليقهِ في ميزان بخيط دقيق اوشعرة ثم خذ الفرق بين الوزنين واقسم وزنهُ خارج الماء على ذلك الفرق فالخارج هو الثقل النوعي لذلك الجسم. مثالهُ

لو فرضنا ان قطعة من الذهب وزنها خارج الماء ١٩٫٣٦ قيراطًا وثقلها في الماء ١٨٫٣٦ قيراطًا فبموجب القاعدة $\frac{١٩٫٣٦}{١٩٫٣٦ - ١٨٫٣٦} =$ ١٩٫٣٦ وهو ثقل الذهب النوعي

فلنفرض ث ثقل الجسم الثقيل خارج الماء وثَ ثقلهُ في الماء و ن الثقل النوعي فتكون العبارة الجبرية للثقل النوعي بموجب القاعدة المذكورة $ن = \frac{ث}{ث - ثَ}$ و$ث = \frac{ن ثَ}{ن - ١}$ و$ثَ = \frac{ن ث - ث}{ن}$ . فاذا عرف اثنان من هذه الثلاثة يعرف الثالث من هذه العبارات

٤١ وإن كان الجسم اخف من الماء كالخشب والفلين فعلق عليهِ جسمًا من نوع اخر يغرقهُ يكون قد عرف ثقلهُ في الهواء وفي الماء. ثم خذ وزن الجسمين معًا في الهواء وفي الماء فيكون الفرق بين الوزنين مساويًا لوزن مقدار من الماء يعدل حجم الجسمين. ثم اطرح الفرق بين ثقل الجسم الثقيل في الهواء وثقلهِ في الماء من الفرق بين ثقل الجسمين معًا في الهواء وثقلهما في الماء فيكون الباقي مساويًا لمقدار من الماء مساوٍ لحجم الجسم الخفيف . ثم اقسم وزن الجسم الخفيف وحدهُ في الهواء على هذا الباقي فيخرج لك الثقل النوعي لذلك الجسم الخفيف وسبب ذلك واضح مما تقدم. مثالهُ لنفرض ان الجسم الخفيف وزنهُ ٣ اواق والثقيل ١٥ اوقية خارج الماء و١٤ فيهِ ثم وُزنا معًا في الماء فكان ثقلهما ١٢ فيكونُ الفرق بين الوزنين ٥ والفرق بين وزن الجسم الثقيل في الماء ووزنهِ في الهواء

واحدًا . اطرح هذا الفرق من الفرق الاول اعني ٥ — ١ = ٤ الذي يساوي وزن مقدار من الماء يعدل حجم الجسم الخفيف ثم اقسم وزن الجسم الخفيف عليهِ اي ٣ ÷ ٤ = $\frac{٣}{٤}$ ثقل الجسم الخفيف النوعي

لنفرض ن الثقل النوعي وخ ثقل الجسم الخفيف خارج الماء وخَ ثقلها داخل الماء وث ثقل الثقيل خارج الماء وثَ ثقله داخله فتكون ن = $\frac{\text{خ}}{\text{ث + خ − خَ − (ث − ثَ)}}$ او ن = $\frac{\text{خ}}{\text{ثَ − خَ + خ}}$ ولذلك ذكر بعضهم قاعدة الثقل النوعي للاجسام الاخف من الماء هكذا اطرح من وزن الثقيل داخل الماء ثقل الجسمين معًا في الماء واضف الى ذلك وزن الخفيف ثم اقسم ثقل الخفيف على هذا المجموع . ومن العبارة المذكورة لنا خ = $\frac{\text{ن(ثَ − خَ)}}{\text{١ − ن}}$ وخَ = $\frac{\text{خ(ن − ١) + ن ث}}{\text{ن}}$ وثَ = $\frac{\text{خ(١ − ن) + ن خَ}}{\text{ن}}$

٤٣ واما السائلات فيستعلم ثقلها النوعي بان يوخذ قنينة تسع الف قمحة تمامًا من الماء المقطر درجة حرارتهِ ٦٠° فاهرنهيت وتملأ من السائل الذي يراد معرفة ثقلهِ النوعي. ثم توزن القنينة وما تحتويهِ . ثم توزن وحدها ويوخذ الفرق بين الوزنين فما بقي فهو ثقل السائل ويقسم وزن السائل على وزن الماء اي الف قمحة فما خرج فهو الثقل النوعي لذلك السائل . مثالهُ قنينة عيارها ١٠٠٠ قمحة من الماء المقطر تسع ١٨٤٥ قمحة من حامض الكبريتيك فيكون ثقل الحامض الكبريتيك النوعي $\frac{١٨٤٥}{١٠٠٠}$ = ١٫٨٤٥

او استعلم الفرق بين وزن جسم جامد في الماء ووزنهِ في الهواء وكذلك الفرق بين وزنهِ نفسهِ في السائل المطلوب ثقلهُ النوعي ووزنهِ في الهواء ثم اقسم الفرق الثاني على الفرق الاوَّل فيكون الخارج الثقل النوعي لذلك السائل. مثال ذلك اذا خسر جسم جامد ٢٠ قمحةً عند وزنهِ في الماء و٣٠ قمحة عند وزنهِ في سايل آخر فيكون الثقل النوعي للسائل الثاني ٣/٢ = ١،٥

٤٣ وإما الثقل النوعي للغازات فيوخذ كما يوخذ الثقل النوعي للسائلات غير انهُ يجعل الهواء الفلكي الجاف مقياساً لها كما مرَّ وذلك بان يوخذ ثقل قنينة ملآنة هواءً ثم ثقلها ملآنة غازاً ويقسم الثقل الثاني على الاول فيخرج الثقل النوعي للغاز المطلوب معرفة ثقلهِ

جدول الثقل النوعي لبعض الجوامد والسائلات

| | | | |
|---|---|---|---|
| الماء المقطر | ١،٠٠٠ | الفحم المعدني | ١،٨٠٠ |
| البلاتين | ٢١،٥٠٠ | خشب البقس | ١،٣٣٠ |
| الذهب | ١٩،٣٦٠ | ماء البحر | ٢،٠٣٠ |
| الزيبق | ١٣،٦٠ | زيت الحيتان | ٠،٩٣٠ |
| الرصاص | ١١،٤٥٠ | لفش الصنوبر | ٠،٦٦٠ |
| الفضة | ١٠،٥٠٠ | بياض الصنوبر | ٠،٤٣٠ |
| النحاس الاحمر | ٨،٨٧٠ | الكحول | ٠،٨٠٠ |
| الحديد | ٧،٨٠٠ | الاثير | ٠،٧٣٠ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| البلور | ٣٠٣٣٠ | الفلين | ٠٠٢٤٠ |
| الرخام | ٢٠٨٣٠ | زيت الزيتون | ٠٠٩٣٢ |

الغازات

| | | | |
|---|---|---|---|
| الهواء الفلكي الناشف | ١٠٠٠٠ | نيتروجين | ٠٠٩٧٥ |
| غاز حامض الكربونيك | ١٠٥٣٠ | غاز الامونيا | ٠٠٥٨٠ |
| اوكسجين | ١٠١٠٠ | هيدروجين | ٠٠٠٧٠ |

واما الهواء فثقلهُ النوعي بالنظر الى الماء ٠٠١٣ كما سياتي في الهوائيات

٤٤ اذا اردت معرفة ثقل جسم جامد من مساحتهِ بدون ان تزنهُ خذ مساحتهُ من الاقدام المكعبة واستعلم وزن القدم المكعب من الماء المقطر ثم اضرب مساحة الجسم في وزن القدم المكعب والحاصل في الثقل النوعي لذلك الجسم. مثالهُ اذا اردت معرفة ثقل حجر الحبلى في بعلبك فخذ مساحتهُ المكعبة بضرب طولهِ في عرضهِ في عمقهِ من الاقدام وخذ وزن قدم مكعب من الماء واضربهُ في المساحة المذكورة ثم استعلم الثقل النوعي لقطعة صغيرة من الحجر المذكور كما مرَّ واضربهُ في ما حصل فما كان فهو ثقل الحجر المذكور

ولا يخفى انه ما يصح في القدم يصح في الذراع او غيرهِ من الاقيسة والانكليز يعينون الثقل المطلق للقدم المكعب من الماء لاجل سهولة العمل ومقدار ذالك الف اوقية طبية وذلك يساوي نحو عشرة ارطال

٤٥ كذلك اذا أمكن معرفة وزن جسم جامد يتعسر اخذ

مساحتهِ المكعبة لعدم انتظام سطوحهِ تستعلم مساحتهُ باخذ الفرق بين ثقلهِ في الماء وثقلهِ في الهواء وقسمة ذلك الفرق على ثقل قدم مكعب من الماء فما خرج فهو مساحتهُ من الاقدام المكعبة

مثالهُ وزن قطعة رصاص في الهواء ٦٨ رطلاً ووزنها في الماء ٤٨ رطلاً فتكون مساحتها قدمين مكعبين لان الفرق بين الوزنين ٢٠ رطلاً وهو ضعف وزن القدم المكعب من الماء كما مر

٤٦ قد تقدم القول ان الاجسام التي ثقلها النوعي يزيد على ثقل الماء تغرق والاجسام المساوية لهُ في الثقل النوعي تعوم فيهِ والاجسام الاخف تطفو على وجههِ. والان نقول ان هذا الحكم يصح ليس فقط على الجوامد والماء بل ايضاً على الجوامد وجميع السوائل وعلى السوائل بعضها مع بعض فالاخف في ثقلهِ النوعي يصعد فوق الاثقل . وعلى ذلك اذا وضعنا سائلات مختلفة كحامض الكبريتيك والماء والزيت والكحول والاثير فنرى انها تنضدّ فوق بعضها الاخف فالاخف اي ان الحامض يستقر اسفل والماء فوق ثم الزيت ثم الكحول ثم الاثير

ان الريش الخفيف اوالهبا او ما شاكلها تتطاير في الهواء لكون ثقلها النوعي متساويا لثقل الهواء النوعي او قريباً من التساوي لكونها متفشة . وعليهِ يمكنا ان نخفف الثقل النوعي للجوامد بالنسبة الى الماء وغيرهِ بتجويفها. فيمكنا ان نصنع مركبًا من حديد مثلاً يطفو على وجهِ الماء وذلك لان ثقلهُ النوعي حينئذٍ اخف من الماء لكبر حجمهِ وقلة مادتهِ فتجويفهُ بمثابة اتساع المسامية .وعلى هذه الحقيقة ايضاً قد اختُرِعت البلُّونات لانهم يملأُونها غازاً اخف من الهواء وهو الهيدروجين فتطلب الصعود الى فوق ويحملونها ما

يمكن ان تحملهُ. وعلى هذا المبدا قد اختُرِعت الستوفات التي اذ تشعل النار فيها يتمدد الهواء داخلها بالحرارة التي من شانها ان تمدِّد الاجسام كما سياتي ويصير اخف منهُ خارجها فيصعد ثم ياتي هواءٌ اخر ليملا الخلا اذ لا تطيق الطبيعة الخلا كما سياتي ثم يخف هذا ويصعد كذلك وهكذا يحصل مجرى من الهواء يُضْرِم النار

٤٧ اذا وضع جسم جامدٌ في ماء في وعاء فانهُ يرفع الماء عما كان عليهِ بمقدار حجمهِ وذلك ناتج من خاصيَّة عدم التداخل كما مر

فاذا اخذنا قنينة فيها ماءٌ اقل من ملئها طول فراغها عقدة وعرضهُ عقدة مفروض العقد على علوها ووضعنا فيها قطعةً من ذهب او غيره ورأينا انها ترفع الماء عقدتين مثلاً يُعرَف ان حجم تلك القطعة عقدتان مكعبتان. فاذا رفع جسم من فضةٍ الماء عقدتين مكعبتين يكون وزنهُ انقص من الذهب الذي يرفع الماء بهذا المقدار لكون ثقلهِ النوعي اقل واذا اخذنا جسمين منهما متساويين وزنًا وانزلنا كلاًّ منهما في الماء فالفضة ترفعهُ اكثر من الذهب لزيادة حجمهِ حينئذٍ وعلى ذلك بنى ارخميدس عمليتهُ في استعلام كمية الفضة المزغول بها تاج هيرو ملك سرقوسه وسنضع ذلك مع المسائل في اخر الفصل

وتحرير الخبر ان هيرو ملك سرقوسه الذي ولد نحو سنة ٢٩٠ ق م اعطى صائغًا مقدارًا من الذهب الخالص لكي يصنع لهُ تاجًا فعند خلوص التاج داخلهُ مظنة في الصائغ لعلهُ سرق من الذهب وزغل التاج. فاستدعى الفيلسوف ارخميدس معاصرَهُ لكي يمتحن ذلك بدون حلّ التاج او بردهِ . واذ لم تكشف عليهِ طريقة معرفة الامر اولاً بقي محتارًا في امرهِ مدةً الى ان ذهب الى الحمام يومًا وانزل جسمهُ في المغطس الطافح بالماء.

ولاحظ انهُ يتدفق منهُ ماءٌ بمقدار ما ينزل من جسمهِ في الماء فانتبه حينئذٍ الى عدم التداخل في الاجسام وانهُ اذا تساوت مساحة جسمين واختلف نوعهما يرفع كل منهما الماء بمقدار واحدٍ عن حدهِ ولكن يختلفان في الثقل واذا تساوى وزنهما فالذي ثقلهُ النوعي اخف يرفع الماء اكثر لزيادة حجمهِ حينئذٍ . وانهُ من هذه الحقيقة نتوصل الى معرفة الفضة المزغول بها التاج وعند ذلك فرَّ من المغطس وهرول راكضاً من الحمام عرياناً لشدة فرحهِ باكتشاف المسئلة وهو يصفق ويهتف قائلاً وجدتها وجدتها وسياتي تفصيل العمل

٤٨ اما طريقة معرفة عيار الذهب بواسطة الثقل النوعي فهي ان تاخذ الثقل النوعي للذهب المفروض ثم تربط ١٩٫٣٦ الثقل النوعي للذهب الخالص مع ١٠٫٣٦ الثقل النوعي للفضة الانكليزية الدارجة . وثقلها اقل من الفضة الخالصة لانها تمزج بقليل من النحاس الاحمر لتصير صلبة. وتجعل الثقل النوعي الذي استخرجتهُ ثمناً مركباً ثم تستخرج الفضلين كما في التعديل المتبادل. ثم تجمعهما وتقول نسبة مجموعهما الى ٢٤ كنسبة الفضل المقابل هذا العدد ١٩٫٣٦ الى عيار الذهب المفروض

وهذه القاعدة مبنية على ان الجسم المركب من نوعين او انواع ثقلهُ النوعي يكون ثقل المزيج وطريقة حساب المزيج تعرف من التعديل المتوسط والتعديل المتبادل في الحساب . ولعل هذه الحقيقة لا خلل فيها. وعلى هذا الاسلوب يتوصل الى معرفة عيار الفضة غير انهُ يربط لذلك الثقل النوعي للفضة الصافية بالثقل النوعي للنحاس الاحمر كما في الجدول

## مسائل مشورة

س ١ وزن جسم وزن ٢٠٠ قمحة بالهواء وبالماء ١٥٠ فما الثقل النوعي لذلك الجسم ج ٤

س ٢ سبيكة ذهب خالص وزنها في الهواء ٣٨٫٧٣ درهم فكم يقتضي ان يكون ثقلها في الماء ج ٣٦٫٧٣ درهم

س ٣ فلينة وزنها في الهواء ٤٨ درهمًا وقطعة من النحاس وزنها في الماء ٤٨٨ درهمًا وثقل النحاس والفلين معًا في الماء كان ٣٣٦ درهمًا فكم هو الثقل النوعي للفلين ج ٫٢٤

س ٤ فلينة وزنها في الهواء ١٢ درهمًا اغرقتها قطعة رصاص وزنها في الماء ٢٢٩ درهمًا فكم يقتضي ان يكون وزنها في الماء ج درهم واحد

س ٥ سبيكة من الذهب وجد ان ثقلها النوعي ١٦٫٣٣٦ فما هو عيارها

س ٦ هيرو ملك سرقوسة امر صائغًا ان يصنع له تاجًا واعطاهُ لذلك ٦٣ اوقية ذهبًا فزغل الصائغ الذهب بمقدار من الفضة فامر الملك الفيلسوف ارخميدس ان يمتحن التاج فوجد ان التاج رفع الماء ٨٫٢٢٤٥ عقد مكعبة وان عقدة مكعبة من الذهب تزن ١٠٫٣٣٦ اوقية وعقدة مكعبة من الفضة تزن ٥٫٨٥ اواق ومن ثم استعلم كم من ذهب الملك سرقة الصائغ. مطلوب تكرار العمل

في ٦٣ اوقية ذهب خالص ٦٫٠٨١١ عقد مكعبة

في . . فضة . ١٠٫٧٦٩٣ . .

وبالربط

$$8{,}2245\left\{\begin{array}{l} 6{,}0811 \text{ —— } 2{,}5447 \\ 10{,}7693 \text{ —— } 2{,}1434 \end{array}\right.$$

٤٫٦٨٨١ : ٢٫١٤٣٤ :: ٦٣ . ك = ٢٨٫٨ اوقية فضة

٣٤٫٢ . . ذهب

٦٣

# الفصل الثالث

## في مركز الثقل

٤٩ مركز الثقل لجسم هو تلك النقطة التي تتوازن عليها جميع اجزائهِ المتقابلة ويهدا عليها لو رُكّز على شيء . وهو للأجسام المنتظمة من ذات كثافةٍ واحدةٍ في مركز مساحتها . مثالهُ مركز الثقل لكرة او مكعب او اسطوانة هو في المنتصف عند مركز الجسم

ان مركز الثقل لحلقةٍ هو عند مركز دائرتها تماماً . فينتج انهُ قد يكون في الجسم اي ضمن مادتهِ كمركز ثقل كرة وقد يكون خارجها كمركز الحلقة . واما مركز الثقل لقوس من حلقة او ما يشبهها فهو في الخط العمودي على منتصف الوتر . وهو ايضاً خارج المادة

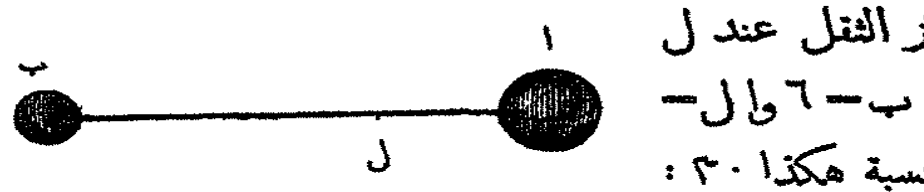
تنبيه . تستعمل لفظة مركز الثقل فيما ياتي لنقطتهِ نفسها او النقطة التي تقابلها في سطح الجسم في طرف الخط العمودي من المركز على السطح

٥٠ اذا وصل قضيبٌ من معدن او خلافهِ بين جسمين فمركز الثقل هو بين الجسمين . وهو في نقطةِ الانتصاف اذا كان الجسمان متساويين . واذا كان احد الجسمين اثقل من

الاخر يكون اقرب للاثقل ونسبة بعد احد الجسمين عنهُ الى بعد الاخر كثقل الواحد الى ثقل الاخر بالقلب . اي الحاصل من ضرب احد الجسمين في بعدهِ عن مركز الثقل يساوي الحاصل من الجسم الاخر في بعدهِ عنهُ وسياتي برهان ذلك في الميكانيكيات

مثالهُ في هذين الجسمين اذا كان ثقل ا = ٣٠ اوقية وثقل ب = ١٠ اواقي والبعد بين ا و ب = ٨ فيكون مركز الثقل عند ل بحيث يكون ل ب = ٦ و ا ل = ٢ . وتكون النسبة هكذا ٣٠ : ١٠ :: ٦ : ٢ او ٣٠ × ٢ = ٦٠ = ١٠ × ٦ فاذا عرف ثقل كلٍّ من الجسمين

شكل ٤

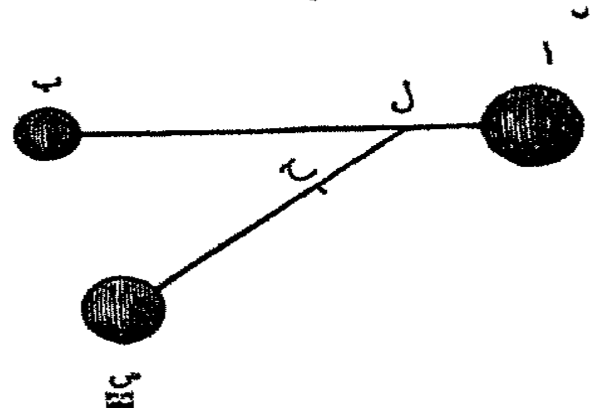



وفرض بعد احدها عن مركز الثقل يستخرج البعد الذي يقتضي ان يكون للاخر عنهُ لكي يتوازنا عليهِ . ولكن ان فُرِض كل البعد بينهما يُستعلَم مركز الثقل بهذه النسبة وهي مجموع ثقل الجسمين : ثقل احدها :: البعد بينهما : بعد الاخر عن مركز الثقل لها . فمتى عرف بهذه النسبة بعد احدها عن مركز الثقل يفصل من البعد بينهما فتتعين نقطة المركز ل ففي المثال الماضي ٤٠ : ٣٠ :: ٨ : ك وبالتحويل ك = ٦ وهو بعد الاصغر الذي ثقلهُ ١٠ اواقي وهكذا يستخرج بعد الاخر وهو ٢

٥١ ثم اذا فرضنا اتصال ثلثة اجسام بعضها ببعض بواسطة قضبان من معدن او خلافهِ كما اذا اتصل بقضيب اب من المركز ل جسم س بقضيب ل س (شكل ٥) يجري حسابها على ما مر ويحسبان جسمي ا و ب قد اجتمعا في نقطة ل جسمًا واحدًا لكونها مركز ثقلهما فاذا فرضنا س = ٢٠ اوقية

وس ل = ٦ فحسما مرّ تكون النسبة هكذا ٦٠ : ٤٠ :: ٦ : ك وبالتحويل ك = ٤ الذي هو بعد س عن مركز الثقل فاذا فصلنا س ح = ٤ تكون ح مركز الثقل للثلاثة وهكذا مهما تعددت الاجسام . ولا فرق بين ان تكون س ل ا او س ل ب قائمة او غير قائمة ولكن اذا لم يتصل س بالجسمين عند نقطة مركز الثقل ل فلا يكون مركز الثقل في قضيبهِ

شكل ٥




واعلم انهُ قد اعتبِرِ ها القضيبان اب ول س خطين هندسيين لا ثقل لهما. ولكن اذا اردت التدقيق لمعرفة بعد احد الجسمين باعتبار ثقل القضيب فاضف نصف ثقل القضيب الى كلٍّ من الجسمين ثم تجري النسبة على ما قدم . وسياتي برهان ذلك في الميكانيكيات

٥٣ بعد نقطةٍ مفروضةٍ من مركز الثقل العمومي لعدةٍ من الاجسام مراكز ثقلها في خطٍ مستقيم مارّ بتلك النقطة يساوي مجموع الحواصل الناتجة من ضرب كل جسمٍ في بعدهِ عن النقطة المفروضة مقسومًا على مجموع الاجسام

لتوضع الاجسام ا ب س د بحيث الخط ل د يمرُّ في مراكز ثقلها فمطلوب

شكل ٦



ان نجد بعد مركز الثقل المشترك لها من نقطةٍ ما مثل ل . ليفرض ل د شريطًا قويًّا لا ثقل لهُ ولتكن غ مركز الثقل المشترك للاجسام ثم حسب ما مرّ

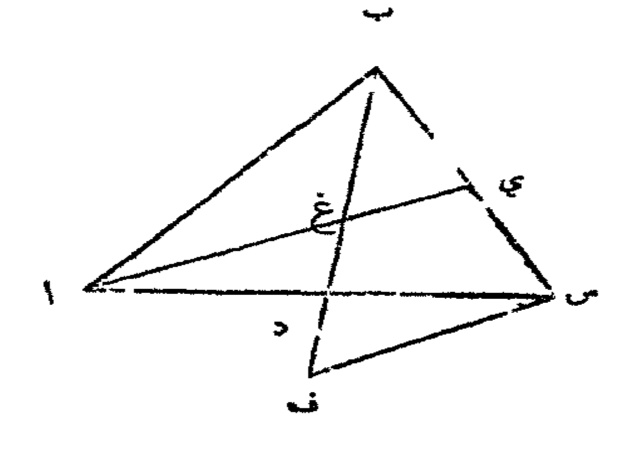
ا × ا غ + ب × ب غ — س × س غ + د × د غ أي ا × ( ل غ — ل ا ) + ب × ( ل غ — ل ب ) — س × ( ل س — ل غ ) + د × ( ل د — ل غ ) اذًا ا × ل غ + ب × ل غ + س × ل غ + د × ل غ — ا × ل ا + ب × ل ب + س × ل س + د × ل د او

ل غ — (ا × ل ا + ب × ل ب + س × ل س + د × ل د) / (ا + ب + س + د)

٥٣ ان رسم خط من احدى زوايا مثلث ذي عمق واحدٍ وكثافة واحدة الى نقطة انتصاف الضلع المتقابل لها. وخط اخر من زاوية اخرى الى مُنتَصَفِ الضلع المتقابِل لها يكون مركز ثقل المثلث في ملتقى الخطين على بعدٍ من مُنتصفِ الضلع المتقابل يساوي ثلث طول الخط المرسوم عليهِ

نصِّف ا س في د وارسم ب د في هذا الرسم فينصف ب د جميع الخطوط الموازية لخط ا س المرسومة من ا ب الى ب س . فلذلك ان وُضِع خط ب د على حرف طويل يهدا المثلث ا ب س عليهِ فتكون نقطة مركز الثقل في خط ب د. نصف ب س ايضًا في ي وارسم ا ي فيكون مركز الثقل في خط ا ي ونكون غ نقطة ملتقى خطي

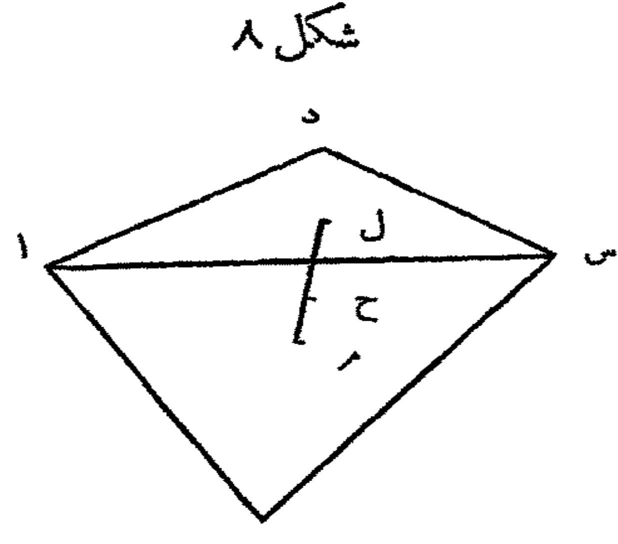
شكل ٧



ب د وا ي مركز ثقل المثلث . اخرج ب د الى ف وارسم س ف موازياً اي فلكون ب ي غ ب س ف متشابهين وب س ضعف ب ي يكون ب ف ضعف ب غ وتكون نقطة غ منتصف ب ف . ثم في مثلثي ا د غ وف د س قد جعل ا د — د س وزاوية ا د غ — ف د س وا غ د — د ف س لكون اي يوازي ف س فخط د ف — د غ (اقل ق ٣٦ ك ١) فيكون د غ ربع ب ف او ثلث ب د . وهكذا اذا اتصلت ثلث عوارض من سمكٍ واحدٍ وكثافة واحدة على هيئة مثلث

ويستعلم مركز الثقل لاي شكل كثير الاضلاع اضلاعه اكثر من ثلاثة بقسمتهِ الى مثلثات واخذ مركز ثقل كل مثلث ثم يستعلم مركز الثقل المشترك بالنسبة كما مرّ

شكل ٨

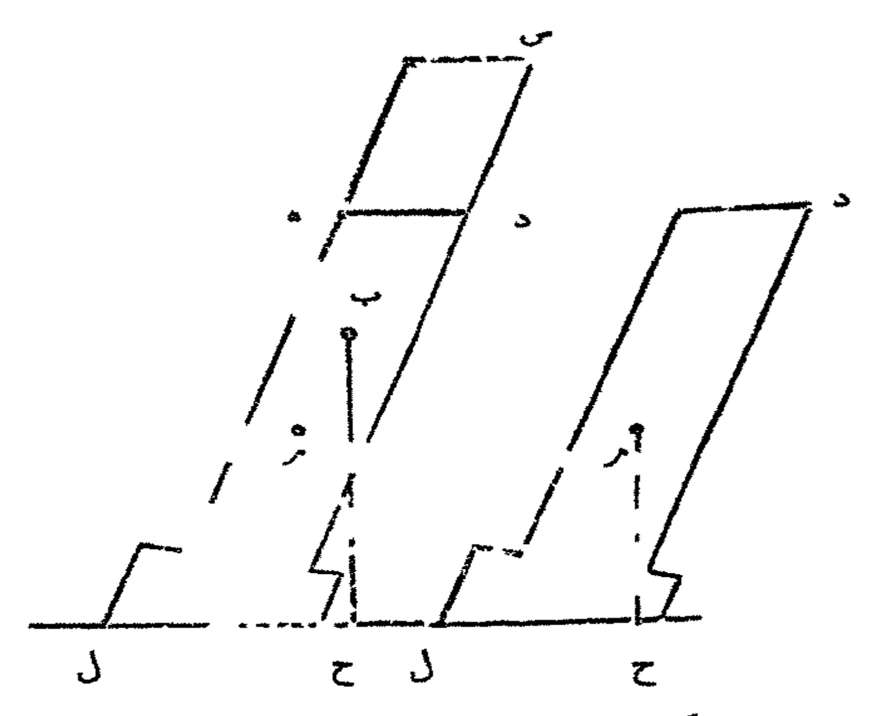



مثالهُ ليكن ا د س ب شكلاً ذا اربعة اضلاع اقسمهُ بخط ا س الى مثلثين وخذ مركز الثقل لمثلث ا ب س مثل م ولا د س مثل ل . ثم بالنسبة المذكورة سابقًا تستعلم المركز المشترك ح اي ا ب س د : ا ب س :: ل م : ل ح وهكذا مهما تعددت اضلاع الشكل الكثير الاضلاع

٥٤ ان وُضِع جسم مهما كانت صورتهُ او مقدارهُ على سطح يبقى ساكنًا ان وقع خط عمودي من مركز ثقلهِ على سطح افق الجسم داخل قاعدتهِ والاَّ يقع. والخط العموديّ المذكور يسمى خط الجهة

مثاله ليكن شكل ٩ ل قاعدته ج ل ومركز ثقله م. فمن حيث ان خط الجهة م ج واقع داخل القاعدة ج ل فيثبت الجسم. ولكن ان اضيف اليه جسم آخر مثل س ه ينتقل مركز الثقل الى ب مثلاً وحينئذٍ يقع خط الجهة ب ج خارج القاعدة فيقع الجسم. وسبب ذلك هو ان الضغط على مركز

شكل ٩



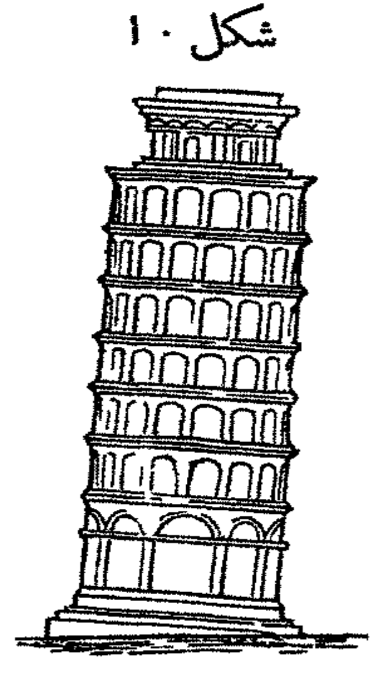

الثقل كما لو اجتمعت كل دقائق الجسم فيه. والجاذبية تتجه الى نحو مركز الارض عمودية على سطح الافق فتطابق خط الجهة. فإن بقي هذا الخط داخل القاعدة فالمادة المتصلة بينه وبين القاعدة تسنده والا فلا لعدم وجود مادة عند القاعدة تسنده كما ترى (شكل ٩)

تنبيه. سطح الافق لشخص او لشيء هو السطح المستوي الذي يمس الارض في موقع الشخص ويقال ايضا للسطح الموازي له الذي يمر بمركز الارض سطح الافق. فلا بد ان يكون الخط المستقيم المتجه الى نحو مركز الارض الذي يمر بموقع الشخص عمودياً على سطح افقه لان سطح افقه يمس كرة الارض عند

موقعهِ وبحسب الهندسة نصف القطر من المركز الى نقطة الماسة عمودي على الخط او السطح الماس

٥٥ ان برج بيزا الشهير (شكل ١٠) الذي علوهُ مئة وثلاثون قدمًا ويميل ١٥ قدمًا عن الوضع العمودي بدون ان يقع هو مثال لما ذكر . فانهُ مبنيٌّ بمهارة واعتناء كلي حتى يقع خط الجهة من مركز ثقلهِ داخل قاعدتهِ . وكيفية بنائهِ أنَّ الجزء الاسفل منهُ مبنيٌّ من صخر كثيف جدًّا ووسطهُ من قرميد واعلاهُ من حجر خفيف مساميٍّ لكي يكون مركز ثقلهِ اقرب في هذه الحال الى القاعدة منهُ في حال كون كثافة البناء من اسفل الى هذا العلو واحدةً وبذلك يقع مركز ثقلهِ داخل القاعدة فيثبت . فلو بنوهُ من كثافة واحدة او زادوا علوهُ مع بنائهِ هكذا لوقع لان مركز الثقل يقع حينئذٍ خارج القاعدة . ولا شك انهُ كان القصد في بنائهِ على هذه الكيفية الذي اقتضى لهُ كل هذا الاعتناء جعلهُ موضوعًا للبهجة والتعجب

شكل ١٠



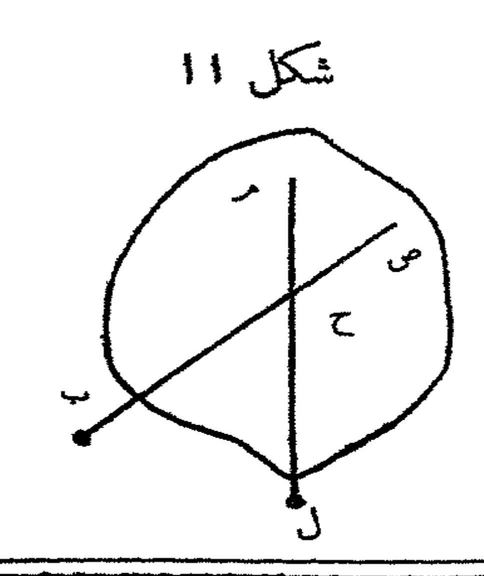
٥٦ مما تقدم ينتج انهُ كلما وسعنا قاعدة جسم مع بقاء المركز او قرَّبنا المركز من القاعدة مع بقاءها على حالها يكون الجسم أثبت واقل خطرًا من ان يُوقَع بقوة ضعيفة . وكلما ضاقت القاعدة مع بقاء المركز على حالهِ او بعد المركز عن القاعدة مع بقاءها على حالها زاد خطر وقوعهِ لان قوة ضعيفة تميلهُ قليلًا حتى يقع مركز الثقل خارج القاعدة

٥٧ ان الذي يسهل على البهلوان ان يمشي على الحبل هو انهُ يعتاد بواسطة الميزان الذي يمسكهُ بيديهِ ان يرجع مركز الثقل الى القاعدة عند ما يميل خط الجهة بميلهِ على الحبل ان يقع خارجها . والاختبار يعلمهُ انهُ كلما مال هو الى جهةٍ يميل الميزان الى الجهة المتقابلة لكي يتغير مركز الثقل فينتقل الى حيث يقع داخل القاعدة وعلى مبدإِ مراعاة مركز الثقل تتم جميع اللعب البهلوانية . وعليهِ اذا التزمت ان تمشي على جدار او حرفٍ ضيق تكون اقل خطرًا من الوقوع اذا مددت يديك الى اليمين واليسار لتتقي بهما الوقوع كميزان البهلوان . وعلى هذا المبدا اذا انحنى واقفٌ الى نحو الارض يلتزم ان يؤَخر عجزهُ الى خلف ولولا ذلك لما امكنهُ ان ينحني لصغر قاعدتهِ عند رجليهِ . ودليلهُ انك اذا انتصبت بلصق حائط لا يمكنك ان تنحني كالعادة فتتناول شيئًا من عند رجليك بدون ان تقع . وعلى ذلك يوخر العظيم البطن او الذي يحمل شيئًا ثقيلاً على بطنهِ الجزءَ الاعلى من جسمهِ لئلاَّ يقع الى قدام بوقوع مركز الثقل خارج القاعدة وهلمَّ جرًّا

٥٨ اذا عُلق جسم في نقطةٍ منهُ وهدأَ فخط الجهة لا بد ان يمر بنقطة التعليق للجسم اذا أُخرج مهما كان شكلهُ او سمكهُ او كثافتهُ

مثالهُ ليكن ا د ب ( شكل ١١ ) جسمًا مركز ثقلهِ ح وليعلق بالنقطة م بواسطة مسمار مثلاً . فاذا علقَ خيط مثل م ل مربوطًا في طرفهِ ثقل لكي يجعلهُ عموديًّا على سطح الافق اذا هدأ عن الخطران فلا بد ان يمر بالنقطةِ ح . وسبب ذلك ان المادة على جانبي م ل لا بد ان تتوازن

شكل ١١



لان الجاذبية تفعل على جهته والاّ يدفع الجانب الاثقل الاخف الى ان توازن مادة الجانب الواحد مادة الجانب الآخر وحينئذٍ يمرم ل ضرورةً في مركز الثقل ويوافق خط الجهة لانهُ يتجه الى نحو مركز الارض . واذا اتخذنا نقطةً اخرى غير م مثل ص وعلقنا الجسم والثقل ب بها يترل ب الى ل ويكون ص ب عموديًا على الافق ويمر بمركز الثقل ج لما تقدم فتتعين ج حينئذٍ نقطة تقاطع خطي م ل وص ب. فتستخلص من ذلك قاعدة عمومية لمعرفة مركز الثقل لاي جسمٍ كان وهي

علِّق الجسم بنقطةٍ منهُ وعلق بتلك النقطة خيطًا في طرفهِ ثقلٌ واصبر عليهِ الى ان يهدأَ. وارسم خطًّا يطابق ذلك الخيط. ثم علقهُ بنقطةٍ اخرى منهُ كذلك. وارسم خطًّا ايضًا يطابق الخيط. فمركز الثقل في نقطة تقاطع الخطين

٥٩ اذا تعلق جسم فلا يخلو اما ان تكون نقطة التعليق مركز الثقل او تحتهُ او فوقهُ

ففي الحال الاول يهدأُ الجسم كيفما وُضع كدولاب معلق على محورافقي موضوع على سطحٍ افقي . وهذه الحالة ما تسمى بالموازنة المطلقة . وقد يكون والحالة هذه مركز الثقل بعيدًا عن مركز الجسم المنتظم لاختلاف الكثافة . وقد يكون خارج الجسم كحلقةٍ او طارة وعلى كلا الحالين مركز الثقل يُراعَى كما لو كان في مركز الجسم نفسهِ او ضمن مادتهِ

وفي الحال الثاني ان تحرك مركز الثقل ولو قليلاً عن وضعهِ المتسامت يرسم نصف دائرة تامة وبالاستمرار يفوت نصف المحيط قليلاً ثم يرجع وهكذا يهدأ بعد ان يخطر عدة خطرات تحت نقطة التعليق . وهذه الحالة ما تسمى بالموازنة غير الثابتة

وفي الحال الثالث يثبت الجسم ولكن ان غيرناهُ عن وضعهِ يرجع اليه ولا يهدأ حتى يستقر مركز الثقل تحت نقطة التعليق اذ تكون مسامتة لهُ . وهذه الحال تسمى بالموازنة الثابتة

وعلى ذلك اذا تُرك جسم ان يتحرك لا يمكنهُ ان يكون في موازنة ثابتة ما لم يهدأ مركز الثقل عند النقطة السفلى.

شكل ١٢

وعلى هذا المبدا قد يتحرك جسم ظاهرًا ضد الجاذبية

مثالهُ (شكل ١٢) القرص م من خشب المثقل على جانبٍ واحدٍ برصاصٍ مثلاً حتى يكون مركز ثقلهِ عند ح يصعد على سطح مائل حتى يصير مركز الثقل اسفل . فمركز الثقل اذ ذاك يهبط بالنسبة الى مركز الجسم المحسوب كنقطة التعليق الذي يصعد الى فوق . وعلى هذا المنوال لا تستقرُّ كرةٌ او طابة مثقلة على جانبٍ واحدٍ ما لم يهبط الجانب المثقل الى اسفل

قطعة من دائرة على سطح افقي لا تستقرُّ ما لم تكن قاعدتها افقية . وذلك لان القطعة تمسُّ السطح دائمًا في نقطةٍ متسامتة لمركز دائرتها س المحسوب كنقطة التعليق . فاذا لم يكن

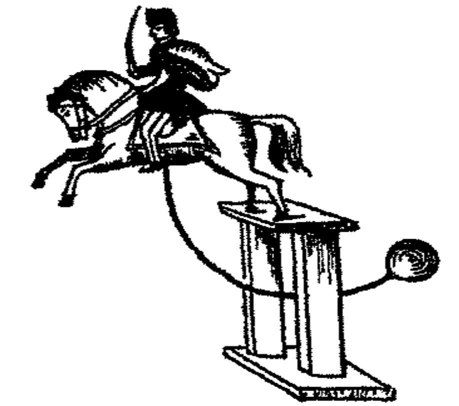
شكل ١٣

مركز الثقل ج في الخط المتسامت المرسوم من س الى نقطة المماسة لا يكون خط الجهة مسنودًا فيقع مركز الثقل . وان كان في الخط يكون مسنودًا بنقطة المماسة ويكون في النقطة السفلى تحت نقطة التعليق فوالحالة هذه تكون قاعدتها افقية كما يرى في الرسم (شكل ١٣) . فبعد ان يتحرك الى هذا الخط ويفوتهُ بالاستمرار يرجع اليهِ ويفوتهُ اقل وهكذا تخطر

القطعة عدة خطرات الى ان تهدأ ويستقرّ مركز الثقل تحت نقطة التعليق في الخط . وعلى هذا المبدإ اصطنعت الاسرّة والكراسي المزّازة وغيرها لكي تهتز بسهولةٍ!

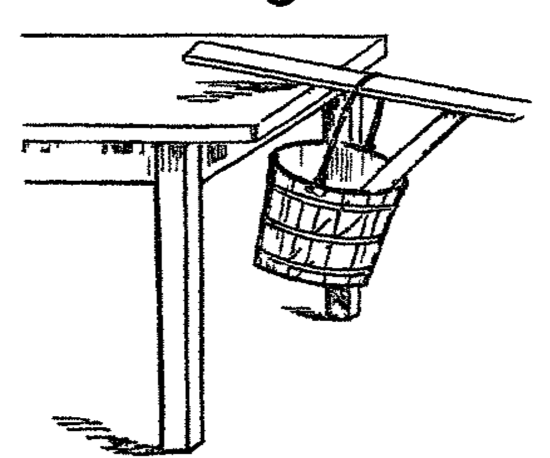
ويتبين ثبوت مركز الثقل تحت نقطة التعليق بوضع متسامت بعد عدة خطرات من لعبةٍ مصنوعة لاجل تسلية الاولاد (شكل ١٤). فان الحصان وراكبهُ معلقان برجلي الحصان. وبواسطة كرةٍ من رصاص في طرف الشريط الملتوي مستديرًا كالعرجون يصير مركز الثقل تحت نقطة التعليق. واذا حُرِّكت اللعبة تخطر عدة خطرات بخطران مركز الثقل الى ان تهدأ بهدوّه . وقد تصنع يدا الحصان على كيفيةٍ بها تتحركان بموجب مبادئ مركز الثقل

شكل ١٤



وقد يتبين ثبوت مركز الثقل تحت نقطة التعليق على وضع متسامت بطريقةٍ مبهجة وهي . خذ دلوًا كما في هذا الرسم (شكل ١٥) مملوءًا ماء وعلقهُ على مائدة في عارضة من خشب متصل بها عارضة اخرى تصل الى قعر الدلو وتدفعهُ الى تحت المائدة على الكيفية المبينة في الرسم . فبذلك يصير مركز الثقل تحت حرف المائدة حيث نقطة التعليق متسامتة لهُ فيتعلق ولولا العارضة السفلى المتصلة بالعليا لما ثبت الدلو

شكل ١٥



## سوالات للتمرين

س١ برجٌ على شكل اسطوانة متساوي الكثافة علوُّهُ المائل ٣٠ ذراعًا وقطر قاعدتهِ ٤ اذرع مبنيٌّ مائلاً بقدر ما يمكن بحيث لا يقع فما هو علو مركز ثقلهِ العمودي على طرف قاعدتهِ ج ٨،٩٢٨

س٢ مفروض وضع ثلثة اجسام على زوايا مثلث مطلوب البرهان ان مركز ثقلها مركز ثقل المثلث نفسه

س٣ مفروض مثلث من خشب جوز ذو عمقٍ واحد طول اضلاعهُ ٤ و٣ و٢ اقدام فكم يكون بعد مركز ثقلهِ عن منتصف ضلعهِ الاطول ج (بحسب اقل ق ١ ك ٣) ٧٢٥،٠ من القدم



# الباب الثاني

## في الحركة وفيهِ ستة فصول

## الفصل الاول

### في الحركة والزخم والقوة

٦١ الحركة هي انتقال جسم من حيز الى اخر فهي عكس السكون . وهي ضرورية للكون لانهُ ان لم يكن حركة فلا نهار وليل ولا فصول في السنة ولا تجرى المياه في مجاريها ولا حركة للهواءِ ولا صوت ولا نور ولا حرارة ولا حيوة حيوانية او نباتية بل موت عام

اذا تحرك جسمٌ بقوة ما فلا بد ان يعتبر في حركتهِ ثلاثة اشياء وهي البين والوقت والسرعة. اما البين فهو الفسحة التي يتحرك فيها الجسم في وقت مفروض واما الوقت فهو مدة الحركة واما السرعة فهي مقدار فسحة الحركة في واحدٍ من الوقت . كما اذا وصل صوت مدفع من مكانٍ الى اخر على بعد ٣٣٧٥ قدماً

بعد ظهور شهب البارود بثلاث ثواني فيقال ان سرعة الصوت هي ١١٢٥ قدماً في الثانية . فان السرعة هي ١١٢٥ والوقت ٣ ثواني والبين ٧٥

٦٢ ان الحركة تنقسم الى قسمين مطلقة وهي حركة جسم في بين ما بقطع النظر عن جسم اخر . ونسبية وهي حركتهُ في بين بالنظر الى جسم اخر مباشر لهُ فحركة النجوم السيارة في دوائرها مثلاً هي مطلقة وحركة مسافر على ظهر مركب هي حركة نسبية لانهُ متحرك بالنظر الى الماء او البر مع انهُ ساكن باعتبار جلوسهِ على المركب وكذلك حركة الاجسام على سطح الارض . وهكذا تنقسم السكون الى قسمين مطلق ونسبي . فاذا توهمنا جرماً ساكناً في الفلك يكون سكونهُ مطلقاً . واذا تحرَّك مركب الى جهة وتحرك راكب الى جهة متقابلة على ظهرهِ بسرعة المركب حتى يبقى في المكان الذي كان فوقهُ من الماء فان سكونهُ نسبي لانهُ ساكن بالنسبة الى الماء مع انهُ متحرك بالنظر الى المركب . ولا نعرف جسماً في الكون ساكناً سكوناً مطلقاً

٦٣ ثم ان الحركة باعتبار السرعة تنقسم الى ثلاثة اقسام متساوية وهي حركة جسم في فسحات متساوية في اوقات متساوية. ومتسارعة وهي مرور جسم في فسحات يتزايد طولها في اوقات

متساوية كحركة الجسم الساقط الي نحو الارض كما سياتي. ومتباطئة وهي مرور جسم في فسحاتٍ يتناقص طولها في اوقاتٍ متساوية كحركة جسم رمي الى اعلى فتتناقص حركتهُ بالجاذبية الى ان تتلاشى فيرجع بحركة متسارعة بالجاذبية

انهُ لامرٌ واضح ان البين في الحركة المتساوية يعدل حاصل الوقت في السرعة. مثالهُ اذا تحرك جسم ٤ اقدام في كل ثانية ففي ٦ ثوانٍ يمرُّ بفسحة طولها ٢٤ قدماً . واما البين في الحركة المتسارعة او المتباطئة بدوام فعل قوة واحدة كالجاذبية فسياتي الكلام عليها في حركة الاجسام الساقطة الى الارض. ولا ضابط للمتسارعة او المتباطئة بفعل قوتين او قوات مختلفة . ويعبر عن البين في الاولى بسطحٍ وعن الوقت والسرعة بضلعيهِ فرسم هذا المسطح يطابق المثل المذكور . فاذا فرضنا البين — ب والسرعة — س والوقت — و يكون لنا هذه العبارة

شكل ١٦

٤ — س

٦ — و

ب — و × س ومن هذه العبارة نستخرج بالجبر و — ب/س و س — ب/و. فمع بقاء السرعة يتغير البين كالوقت او مع بقاء الوقت كالسرعة . والوقت يتغير كالسرعة بالقلب والسرعة كالوقت بالقلب مع بقاء البين

٦٤ الزخم. زخم جسم هو مقدار قوة حركتهِ. وهوَ يساوي حاصل كَمِّيَّة مادتهِ في سرعتهِ. لان زخم الجسم كلهِ هو مجموع قوات حركات

جميع اجزائهِ فيتوقف على عدة الاجزاء وسرعة كل واحدٍ منها

لنفرض الزخم = ز ومقدار المادة = ق والسرعة = س فلنا

$$ز = ق \times س \quad و \quad ق = \frac{ز}{س} \quad و \quad س = \frac{ز}{ق}$$

اي ان الزخم يساوي المادة في السرعة والمادة تساوي الزخم مقسومًا على السرعة والسرعة تساوي الزخم مقسومًا على المادة . فاذا عُرِف اثنان من هذه الثلاثة يُعرف الثالث من هذه العبارات الثلاث . ثم من العبارة الاولى ينتج ان ز ∞ ق او ز ∞ س اي الزخم يتغير كالمادة بالاستقامة مع بقاء السرعة على حالها او كالسرعة بالاستقامة مع بقاء المادة كذلك . فاذا زاد الزخم او نقص كزيادة المادة او نقصانها في جسمٍ متحركٍ تبقى السرعة على حالها . ومن العبارة الثانية والثالثة ينتج انهُ اذا زادت المادة كزيادة السرعة بالقلب يبقى الزخم على حالهِ . واذا زادت السرعة كزيادة المادة بالقلب يبقى الزخم على حالهِ

٦٥ القوة. اذا فعلت قوة في جسم فلا تحدث حركةً في كلِّ اجزاء الجسم في وقت واحد. ولكن تحرّك اولاً الدقائق التي تفعل عليها القوة ومنها تمتد الحركة الى الدقائق الاخر بالتتابع

ويتضح ذلك من انهُ اذا رُميت رصاصة من اليد على لوح زجاج فانها تكسِرهُ كِسَرًا . ولكن اذا أُطلقت من بارودة فانها تاخذ منهُ بقدر ملئها . وسبب ذلك هو ان الرصاصة اذا رُميت باليد فالقوة بما انها ضعيفة تجعل حركتها بطيئة وبذلك يكون فرصة لامتداد الحركة في الزجاج فيتكسر قطعًا . ولكن الرصاصة المطلقة من البارودة تكون سريعة جدًا حتى لا يكون فرصة للحركة لكي تمتد الى بقية الاجزاء التي لم تمسها الرصاصة فتاخذ الدقائق التي فعلت بها وحدها وتخرقهُ تاركةً فيهِ ثقبًا اتساعهُ كاتساع قطرها. ودليلهُ انك اذا علقت لوح زجاج بخيطٍ في غصن شجرة مثلاً واطلقت

عليهِ رصاصة يثقب ولا يتحرك . واذا كان باب مفتوحًا فانهُ يغلق بقوة ضعيفة ولكن ان اصابتهُ كلة اطلقت من مدفع تخرقهُ وتاخذ منهُ ملأها بدون ان تحرِّكهُ . وذلك لان سرعتها تجعلها تغلب على جاذبية الالتصاق فتاخذ الاجزاء الفاعلة عليها بسرعة فائقة بحيث لا تسمح للحركة بفرصة لكي تمتد الى باقي اجزاء الباب وتغلب على استمرارهِ في حالة السكون

٦٦ اذا تحرك جسم فلا بدَّ من قوةٍ تفعل فيهِ فتغلب على استمرارهِ في حال السكون فتحركهُ كما انهُ اذا كان متحركًا فلا بدَّ من قوةٍ تسكنهُ . ولمَّا كانت القوة تعتبر كالزخم لانهُ نتيجتها فاذا وضعنا القوة عوض الزخم (رقم ٦٤) نتغير كتغيرهِ بالنظر الى المادة والسرعة هناك . وتتغير المادة كتغير السرعة بالقلب والسرعة كالمادة بالقلب مع بقاء القوة كما انهما يتغيران بالقلب هناك مع بقاء الزخم . فان زادت القوة كزيادة المادة في جسم متحرك تبقى السرعة على حالها متسارعةً كانت او متباطئة او متساويةً

# الفصل الثاني

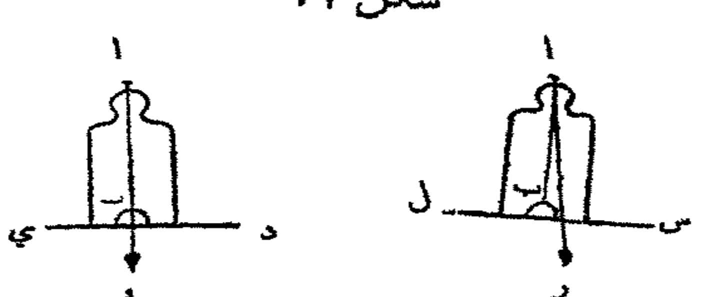
## في حركة الاجسام الساقطة الى الارض

**٦٧ اذا سقط جسم من علوٍّ ما فيمر على خطٍ مستقيم الى جهة مركز الارض لان جاذبية الارض تفعل الى جهة المركز كما مرَّ**

ويتضح ذلك من انهُ اذا علقنا جسمًا كرصاصةٍ بخيط نرى خيط الرصاصة يتجه الى نحو مركز الارض وعلى هذا المبدا قد اصطنع ميزان البناء ليعرف بهِ ان كان حائط البناء متجهًا على استقامةٍ الى نحو مركز الارض ام لا . والفادن ايضًا كما ترى (شكل ١٧) الذي يوضع سطح اسفلهِ منطبقًا على سطحٍ

مستوٍ ليعرف ان كان افقيًّا ام لا . لانَّ خيطهُ ا و المعلق بهِ الرصاصة و اذ يتجه الى نحو مركز الارض لا بد ان يكون عموديًّا على السطح ان كان افقيًّا مثل د ي (رقم ٥٤) فينطبق حينئذٍ على خط

شكل ١٧




الفادن ا ب المرسوم من نقطة تعليق الخيط عموديًّا على سطح اسفلهِ المنطبق على السطح د ي . وان لم يكن السطح افقيًّا مثل س ل فلا ينطبق الخيط ا و على خط ا ب لان ا ب عمودي على ل س المنطبق عليهِ قاعدة الفادن وهو ليس بافقي . فمن انطباق خيط الفادن على خط ا ب او من ميلهِ عنهُ يعرف هل السطح افقي ام لا

ثم لا تقع خيطان ميازين او فوادن بعيدةٍ بعضها عن بعض متوازيةً لكونها تتجهُ نحو المركز فتلتقي اذا اخرجت عندهُ كما في هذا الرسم . ليكن ا ب جزءًا من سطح الارض وم المركز فالميازين د ل و تتجه الى نحو المركز م وتلتقي هناك فلا يمكن ان تكون متوازيةً لان الخطوط المتوازية لا تلتقي ولو أُخرِجت الى غير نهاية . ومقدار المَيل عن التوازي يكون لكل ميل جغرافيٍّ دقيقة على دائرة عظيمة كخط الاستواء . فاذا فُرِض قوس ف س

شكل ١٨

ميلاً واحدًا اجعل خط ح ف موازيًا س ل تكون زاوية ح ف و ا و ل م و

دقيقةً لكون ف س قياس زاوية ل م و والميل الجغرافي على سطح الارض يساوي دقيقة

٦٨ ان كل الاجسام خفيفةً كانت ام ثقيلةً كبيرةً ام صغيرةً اذا سقطت من علوٍ واحدٍ تكون سرعتها واحدة وبالضرورة تصل الى الارض في وقتٍ واحدٍ

وذلك لان جاذبية الارض تفعل في جميع الدقائق على التساوي فتتغير قوة الجاذبية كتغيُّر المادة اي اذا كانت مادة جسم ضعف مادة اخرى تكون قوة الجاذبية الفاعلة فيه ضعف الفاعلة في الاخر او ثلثة اضعاف فثلثة اضعاف وهلمّ جرًّا . وانهُ لامر واضح انهُ اذا تغيَّرت القوة كتغير المادة تبقى السرعة واحدةً كما تقدم في الكلام على القوة (رقم ٦٦) . وبما ان قوة الجاذبية تتغير كتغير المادة كما سبق القول فسرعة الاجسام الساقطة ولئن اختلفت في الثقل او المقدار هي واحدة. ولما كان الوقت في حركة الاجسام الساقطة يساوي البين على نصف السرعة الاخيرة كما سياتي فاذا مرَّ اجسامٌ متساوية السرعة في ابيانٍ متساوية تكون الاوقات المقتضية لمرورها في تلك الابيان متساوية واذا ابتدات ان تتحرك في زمنٍ واحدٍ من علوٍ واحدٍ في بينٍ ما تصل الى نهايتهِ في وقتٍ واحدٍ

وانما اذا اعترض لماذا اذا سقط قطعة رصاص وريشة معًا من علو واحدٍ لا يصلان الى الارض في وقت واحد . فالجواب ان مقاومه الهواء للريش تغلب على قوة الجاذبية الفاعلة فيهِ اكثر مما تغلب على الرصاص لكون ثقلهِ النوعي اقل جدًّا من ثقل الرصاص النوعي كما مر . ودليلهُ انك اذا وضعت ريشة ورصاصة معًا في زجاجة مستطيلة قد تفرَّغ منها الهواء بالآلة المفرغة وقلبت الزجاجة لتسقط تراهما يصلان الى اسفل الزجاجة في وقت واحدٍ . بخلاف ما اذا كانت الزجاجة ملآنة هواء فحينئذٍ لا يكون كذلك

## ٦٩ الاجسام الساقطة من علوٍ ما يتزايد بينها كمربع الوقت

ولبرهان ذلك لنفرض ان جسمًا سقط من علوٍ وبقي نازلاً ثلاث ثوان الى ان وصل الى الارض . ولنفرض ان سرعتهُ في الثانية الاولى واحدٌ . ولندل على سرعتهِ الناتجة عن الجاذبية بخط ا ب في هذا الرسم وعلى الثانية الاولى بخط ب س فيدلُّ بمساحة الشكل ا س على البين في الثانية الاولى لما مرَّ (رقم ٦٢). فاذا بطل فعل الجاذبية بعد ان حرَّكت الجسم في بداءة الثانية الاولى فلا يخفى انهُ بالاستمرار يبقى الجسم يتحرك بسرعة متساوية . واذا حسبنا ان س د الثانية الثانية ود ي الثالثة فعند نهاية الثالثة يدل على البين بشكل اي . واذا فرضنا ان الجاذبية فعلت في بداية الثانية الثانية بعد ان بطلت الى اخر الاولى يكتسب الجسم سرعة ج ه فوق استمرارهِ بسرعة ا ب او س ه ويمرُّ ببينٍ يُدَلُّ عليهِ بسطح ج د . وهكذا في الثانية الثالثة يمرّ الجسم ببين يدلُّ عليهِ بسطح ص ي. فتكون هذه الابيان ا س ج د ص ي بمجموعها يدلُّ على البين الذي مرَّ فيهِ الجسم بثلث ثواني اذا كانت الجاذبية تفعل في اول كل ثانية وتبطل الى نهايتها . ولكن بما ان فعل الجاذبية متصل في كل لحظةٍ من كل ثانية لنفرض اننا نقسم الثواني ب س س د دي اقسامًا صغيرة الى غير نهاية الى ان تتصل النقط بين ب و ي فواضحٌ ان المثلثات اب ه ج ه و ص و ط تتلاشى وتصير نقطًا في خط ب ط كما يرى في خط ب ه (شكل ١٩) وحينئذٍ يدل على البين الذي يمرّ بهِ الجسم في مدة ثلاث ثوانٍ بمثلث ب ط ي القائم الزاوية وعلى الوقت بخط ب ي وعلى السرعة الاخيرة بخط ي ط . وبما ان

شكل ١٩

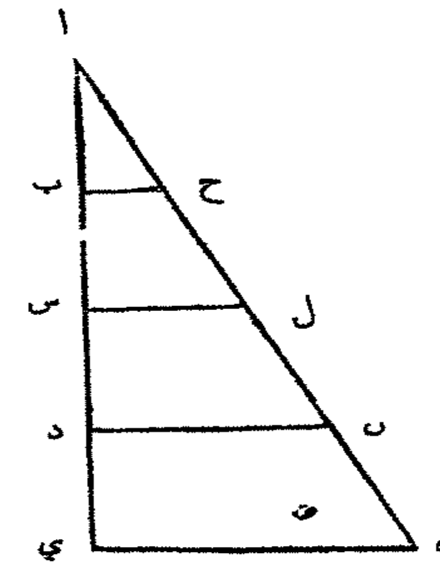
المثلثات المتشابهة كمربعات اضلاعها

فمثلث ب س ه : مثلث ب د و :: ب س٢ : ب د٢ والمثلثان المذكوران يدل اولها على البين في الثانية الاولى وثانيهما على البين في الاولى والثانية ولا يخفى النسبة بين ب س ه وب ي ط فمن النسبة المذكورة ينتج ان البين يتغير كمربع الوقت. وواضح ايضاً ان الاوقات تتغير كالسرعة لان المثلثات المتشابهة اضلاعها المتناظرة متناسبة فنسبة ب س : ب د :: س ه : د و. وان البين يتغير كمربع السرعة لأن ب س ه : ب د و :: س ه٢ : د و٢ وهكذا مهما تعددت المثلثات بتعدد الثواني يتبين لنا ان البين يتغير كمربع الوقت او كمربع السرعة والوقت كالسرعة

## ٧٠ لما كانت الابيان التي يمر بها جسم ساقط تزداد كمربعات الاوقات تكون حركتهُ متسارعة بقوة الجاذبية الدائمة

فان سقط جسمٌ من حال السكون في اوقاتٍ يدل عليها اب ب س س د د ي كما في هذا الرسم (شكل ٣٠) وفرضنا اب = ١ واس = ٢ واد = ٣ واي = ٤ الخ اي ١ ٢ ٣ ٤ الخ فالابيان المرور بها المدلول عليها بمثلث اب ح واس ل وادن واي ه = ١ ٤ ٩ ١٦ الخ والابيان المرور بها في الثانية الاولى والثانية والثالثة والرابعة يدل عليها بهذه الاعداد الوترية ١ ٣ ٥ ٧ الخ.

شكل ٣٠




وبما ان المدققين في هذا الفن قد عرفوا من امتحانٍ مدقق ان الجسم يمرُّ في الثانية الاولى ١٦ ١/١٢ قدم فبموجب الاعداد الوترية يمرُّ في الثانية الثانية ٣ × ١٦ ١/١٢ وفي

الثالثة ٥ × ١٦١/١٢ الخ • فدوام فعل الجاذبية يجعل حركة الجسم الساقط متسارعة كما ترى

## ٧١ ثم كما ان الجاذبية تحدث حركة متسارعة لاجسام ساقطة تحدث حركة متباطئة لاجسام صاعدة اذ تفعل ضد حركتها •

اذا رُمي جسمٌ الى فوق بنفس السرعة الاخيرة التي يكتسبها بالجاذبية لو هبط من علوٍّ ما في وقتٍ تاخذ سرعة القوة الدافعة بالتناقص بمضادة الجاذبية نفسها في حال الصعود الى ان تتلاشى عند نهاية العلو في نفس الوقت فيرجع هابطًا ويكتسب السرعة التي رُمي بها

مثالهُ اذا رُمي جسم الى فوق بسرعةٍ ما وبقي مدة ٤ ثوانٍ فالبين الذي يصل اليهِ يقتضي ان يكون ٤^٢ × ١٦١/١٢ = ٢٥٧١/٣ لان الجاذبية تنزلهُ في هذا البين في ٤ ثوانٍ لكي تكسبهُ تلك السرعة التى رُمي بها فيقتضي ان تخسرهُ اياها في صعودهِ في هذا الوقت وفي هذا البين . وذلك يتضح من النظر الى (شكل ١٩) فاذا رُمي جسمٌ بسرعة ط ي وهي السرعة الاخيرة التي اكتسبها في مدة ٣ ثوانٍ فبصعودهِ الى ان تتلاشى سرعتهُ ط ي بمضادة الجاذبية يدل على البين بشكل ا ب ي ط ص ج اذا ضادتهُ في اخر كل ثانية ولكن لكونها دائمة تزول الدرجات عند ص و ج و ا ويُدَل على البين الذي صعد فيهِ الجسم بمثلث ب ي ط كما اشرنا ( رقم ٦٩ )

## ٧٢ البين الذي يمرُّ بهِ جسمٌ ساقط من حال السكون في وقتٍ ما بفعل الجاذبية هو نصف البين الذى يمر بهِ لو تحرك على السرعة الاخيرة في كل الوقت المفروض

ليدل مثلث ا ب س على البين الذي يمر بهِ جسم بفعل الجاذبية في

الوقت ا ب . وليكن ب س السرعة المكتسبة الاخيرة . اخرج ا ب الى د واجعل ب د = ا ب وتمّم شكل ب ي . فان تحرك جسم حركةً متساوية في الوقت ب د المساوي ا ب بسرعة ب س يدل على البين الذي يمر بهِ بشكل ب ي ( رقم ٦٣ ) الذي نصفهُ اب س . اذًا البين المرور بهِ بحركة متسارعة في وقت اب هو نصف المرور بهِ في ذات الوقت ب د بسرعة متساوية

شكل ٢١



فاذا بطل فعل الجاذبية على جسم ساقط في آخر الثانية الاولى وبقي الجسم متحركًا بالاستمرار يمر بالثانية الثانية ببين هو ضعف البين في الثانية الاولى اي $\frac{1}{6}$٣٢ فيحسب هذا العدد السرعة في آخر الثانية الاولى

٧٣ البين الذي يقطعهُ جسمٌ مرتمٍ الى اسفل بسرعة مفروضة في وقتٍ يساوي مجموع البين الذي يجتازهُ بحركة متساوية بهذه السرعة والبين الذي يسقط فيهِ الجسم من حال السكون بفعل الجاذبية في الوقت نفسهِ

لتدل ا د ( شكل ٢٢ ) على سرعة الرمي المفروضة وا ب على الوقت المفروض وكمل الشكل ا ي . ثم اخرج ب ي الى س واجعل ي س للدلالة على السرعة الناتجة عن الجاذبية في الوقت ا ب او د ي وارسم د س . فالجسم المتحرك بقوة الرمي فقط يسير بالاستمرار في بين يدلّ عليهِ بشكل ا ي في وقت ا ب . وانما المتحرك بالجاذبية وحدها يمر في بين يدل عليهِ بمثلث د ي س ( رقم ٦٩ ) . فالمتحرك بكليهما

شكل ٢٢

معًا يدل على بينهِ الذي يسقط فيهِ بالمخرف ا س

٧٤ لنبين ان البين يتغير كمربع الوقت بطريقة جبرية فلنفرض س السرعة في اخر الثانية الاولى . فلان الجسم يبتدي بالحركة من حال السكون تكون سرعتهُ في اول الثانية الاولى صفرًا اذًا $\frac{\text{٠ + س}}{\text{٢}}$ — معدل السرعة والوقت X السرعة — البين . فلنفرض البين في الثانية الاولى — ب فيكون لنا ب — ١ X $\frac{\text{٠ + س}}{\text{٢}}$ — $\frac{\text{س}}{\text{٢}}$ فتكون س — ٢ ب . وانما اذا بطل فعل الجاذبية وتحرك الجسم بالاستمرار فقط في اخر الثانية الاولى او في اول الثانية الثانية تبقى سرعتها في اخرها س ولكنهُ يكتسب بالجاذبية في الثانية الثانية س ايضًا فتكون سرعتهُ في اخرها ٢ س . ولكن بما انهُ ابتدا فيها بسرعة س يكون معدل سرعتهُ فيها — $\frac{\text{س + ٢ س}}{\text{٢}}$ — $\frac{\text{٣ س}}{\text{٢}}$ اضرب هذه العبارة في الوقت وهو واحد يكون لنا البين في الثانية الثانية فتبقى $\frac{\text{٣ س}}{\text{٢}}$ وبالتعويض عن س بقيمة ٢ ب يكون البين فيها ٣ ب اي ثلثة اضعاف بين الثانية الاولى . وهكذا يبرهن ان البين في الثانية الثالثة خمسة اضعاف الاولى وفي الرابعة سبعة الخ وتكون الابيان على ترتيب هذه الاعداد الوترية ١ ٣ ٥ ٧ ٩ ١١ ١٣ الخ . ثم لان البين في الاولى — ١ وفي الثانية — ٣ فيكون البين في الثانيتين معًا — ٤ . وبما ان البين في الثالثة ٥ اضعاف الاولى فيكون مجموع الثلاثة ٩ . وهكذا يبين ان مجموع الابيان في الاربعة ١٦ وفي الخمسة ٢٥ وهلمَّ جرًّا ويكون ترتيبها هكذا $\text{١}^{\text{٢}}$ $\text{٢}^{\text{٢}}$ $\text{٣}^{\text{٢}}$ $\text{٤}^{\text{٢}}$ $\text{٥}^{\text{٢}}$ الخ . فاذًا البين يتغير كمربع الوقت

٧٥ في كيفية استعلام البين والسرعة والوقت لاجسام ساقطة او صاعدة . لكي نجد البين الذي يمرُّ بهِ جسمٌ صاعدٌ او هابطٌ بقرب سطح الارض يقتضي ان يُعرف البين الذي يمرُّ بهِ جسمٌ في الثانية الاولى لكي يعتمد عليهِ . وقد وجد بالامتحان المدقق كما

سبق القول ان جسماً ساقطاً في خلاء يمرّ في الثانية الاولى في عرض نحو ٤٠° بفسحةٍ = ١٩٣٫١٤ عقدة = ١٦٫٠٩٥ قدم والمعتمد عليهِ بين اهل الفن لمرور جسم في الهواء في الثانية الاولى هو ١٦ ١/١٢ قدماً

شكل ٣٢

ا ب س د ي

فلنفرض البين المدلول عليهِ بمثلث ا ب س هو البين المذكور. ا ب = ا وهي الثانية الاولى

ج = ١٦ ١/١٢ البين في الثانية الاولى المدلول عليهِ بمثلث ا ب س

٢ج = ٣٢ ١/٦ السرعة في اخر الثانية الاولى المدلول عليهِ بخط ب س (رقم ٧٣)

ب = البين لوقتٍ معروض المدلول عليهِ بمثلث ا د ي

و = الوقت المفروض المدلول عليهِ بخط ا د

س = السرعة في اخر الوقت المفروض المدلول عليها بخط د ي

فمن مشابهة المثلثات لنا هذه النسب

ب : ج :: و$^{2}$ : ١$^{2}$ وبالتحويل (١) و = $\sqrt{}$ ب/ج

ب : ج :: س$^{2}$ : (٢ ج)$^{2}$ . (٢) س = ٢ $\sqrt{}$ ج ب

و : ١ :: س : ٢ ج . (٣) و = س/٢ج

وبتحويل (١) يكون لنا (٤) ب = ج و$^{2}$

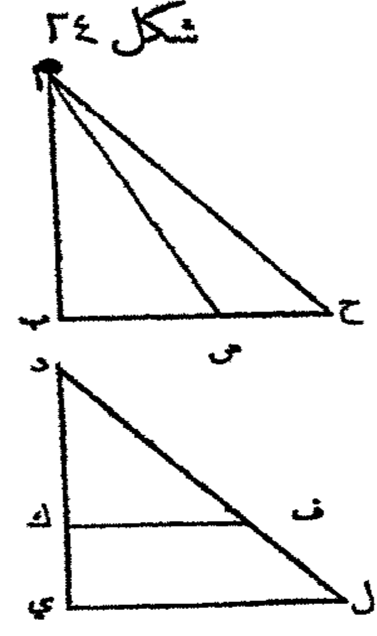
. (٢) . . (٥) ب = س$^{2}$/٤ ج

. (٣) . . (٦) س = ٢ ج و

٧٦ اذا تغيّرت قوة الجاذبية بسبب اختلاف علو الاجسام عن مركز الارض او بسبب هبوطها على سطح مائل كما سياتي او

غير ذلك يتغير البين كتغير القوة

ايضاح ذلك . ليسقط جسم من د قرب سطح الارض في بين يدل عليهِ بمثلث د ي ل في ثانية واحدة يدل عليها بخط د ي. فيكون خط ي ل دالاً على السرعة في اخر تلك الثانية و ½ ي ل = معدل السرعة كما تقدم . ثم ليهبط الجسم من مكان اعلى مثل ا بحيث تختلف قوة الجاذبية لاختلاف البعد عن المركز. ولنفرض انهُ في ثانية واحدة مرَّ ببينٍ مدلول عليهِ بمثلث اب س. فيكون ا ب دالاً على ثانية واحدة وب س على السرعة الاخيرة. و ½ب س = معدل السرعة لهبوطهِ




من ا. اخرج ب س الى ح حتى يساوي ي ل واوصل بين ا وح فلان ا ب = د ي لكون كليهما يدلان على ثانية و ب ح = ي ل وزاوية ا ب ح = د ي ل فمثلث ا ب ح = د ي ل . ثم البين ا ب س : البين اب ح او د ي ل :: ب س : ب ح ( اقليدس ق ١ ك٦ ) اي ان البين يتغير مثل السرعة مع بقاء الوقت في الحركة المتسارعة كما يتغير في الحركة المتساوية (رقم ٦٣) والقوة تتغير كالسرعة مع بقاء الوقت والمادة في الحركة المتسارعة كما في المتساوية (رقم ٦٦) لان بين الاولى نصف بين الثانية ابداً مع بقاءها كما ان المثلث نصف المستطيل على قاعدة تساوي قاعدتهُ (رقم ٧٣) والمثلث والمستطيل المذكوران يتغيران كعلوهما المحسوب سرعةً فالقوة تتغير كالبين مع بقاء الوقت والمادة . وبما ان تغير المادة لا يجعل فرقاً بسرعة الاجسام في الجاذبية (رقم ٦٨ ) فلا يلتفت الى تغييرها فالقوة تتغير كالبين مع بقاء الوقت

٧٧ ثم ان الوقت مع بقاء البين يتغير كجذر القوة بالقلب

ارسم ك ف موازيًا ي ل ( شكل ٢٤ ) بحيث يجعل مثلث د ك ف — اب س (اقل ق س ك٦) فالجسم الساقط من د يدل على الوقت الذي فيه سقط بين د ك ف بخط د ك . ولكن المثلث د ي ل : د ك ف :: د ي$^2$ : د ك$^2$ كما تقدم او ٦ د ي ل : ٦ د ك ف :: د ي : د ك . ومن حيث ان دي — اب وقت الجسم الهابط من ا و د ك وقت الجسم الهابط من د و د ك ف — ا ب س فبالتعويض في النسبة تصير ٦ د ي ل : ٦ ا ب س :: اب: د ك فجذر الابيان يتغير بالقلب كالوقت . وقد تقدم قُبَيل هذا ان القوة تتغير كالبين او جذر القوة كجذر البين. فاذًا جذر القوة يتغير بالقلب كالوقت مع بقاء البين متساويًا للجسمين او القوة بالقلب كمربع الوقت. وهكذا يبرهن اذا جُعِل بين الجسم الهابط من ا — د ي ل

سوالات للتمرين

س$^1$ في كم من الوقت يقتضي يهبط جسم من علو ميل (٥٢٨٠ قدمًا) ويصل الى الارض ج ١٨،١٢″

س$^2$ بسرعة كم قدم في الثانية يجب ان يُرمَى جسم لكي يصل الى علو ٢٠٠ قدم ج ١١٣،٤٣ قدم

س$^3$ اذا كانت سرعة جسم ٣٠٠ قدم في الثانية عند وصولهِ الى الارض ففي كم من الوقت يسقط ج ٩،٣٣٦″

س$^4$ اذا بقي المطر ساقطًا ١٢″ بعد ظهور البرق الى ان وصل الى الارض فكم قدمًا يكون علو الغيم ج ٢٣١٦ قدمًا

س$^5$ اذا أُطلقت رصاصة من بارودة بسرعة ١٢٥٠ قدمًا في الثانية فكم قدمًا تصعد ج ٢١٦٧ قدمًا و٤ اميال

س$^6$ ان سقط جسم في نصف ثانية الى الارض فما هي السرعة التي يضرب بها الارض ج ١٦ $\frac{1}{12}$ قدم في ١″

شكل ٢٥

س٧ اذا سقط جسم من ا وعند وصوله الى ب سقط جسم اخر من س فاذا التقيا عند ل فما هي العبارة الجبرية لمعرفة س ل اذا فرض ا ب وب س

لنفرض ا ب = د ( شكل ٢٥ ) وب س = ح وس ل = ك فخط ا ل = د + ح + ك ووقت نزول جسم من س الى ل هو √(ك/ح) ونزول جسم من ا الى ل هو √((د+ح+ك)/ح) ونزول الاول من ا الى ب = √(د/ح) فيكون وقت نزوله من ب الى ل = √((د+ح+ك)/ح) − √(د/ح) . واما نزول الثاني من س الى ل فمساوٍ وقت نزول الاول من ب الى ل فيكون لنا

√((د+ح+ك)/ج) − √(د/ح) = √(ك/ح) وبالتحويل ك = ح²/٤د اي ان البين الذي يهبط فيه الجسم الثاني قبل ان يلتقيا يعدل مربع البعد بينهما اذ ابتدا الثاني بالسقوط مقسومًا علي اربع مرات البين الذي نزل فيه الاول قبل ان سقط الثاني

شكل ٢٦

س٨ فاذا كان برج علوهُ من ب الى ي (شكل ٢٥) ٢٠٠٠ قدم وعليهِ راية علوها ب ا = ٣٦ قدمًا وفي البرج شباك عند س تحت سطح البرج ٤٤ قدمًا واسقط حجرٌ من اعلى الراية وحين وصولهِ الى السطح اسقط حجرٌ اخر من الشباك فكم يكون علو مكان التقائهما عن اسفل البرج ج ١٢٧٢٨٥

س٩ سقط جسم من د ووقت بداءة سقوطهِ رمي جسم اخر من ب الى فوق الجهة د بسرعة تحملهُ الى ا والتقيا في س فما هي العبارة الجبرية لمعرفة د س اذا فرض ا ب و د ب

لنفرض ا ب = ح و ب د = ل و س د = ك فتكون ا د = ح − ل وا س = ح − ل + ك ووقت السقوط من د

الى س — $\sqrt{\frac{ك}{ح}}$ ووقت صعود الجسم الثاني من ب الى س — وقت سقوطه من ا الى ب الا وقت سقوطهِ من آ الى س — $\sqrt{\frac{ح}{ح}} - \sqrt{\frac{ح - ل + ك}{ح}}$ وانما صعود الجسم الاسفل من ب الى ش — هبوط الاعلى من د الى س لانهما ابتديا في وقت واحد فاذا $\sqrt{\frac{ك}{ح}} = \sqrt{\frac{ح}{ح}} - \sqrt{\frac{(ح - ل + ك)}{ح}}$ وبالتحويل تصير ك — $\frac{ل^2}{4ح}$

س[1] على راس برج علوهُ ١٦٠ قدمًا وضع عامود راية علوهُ ٥٠ قدمًا وعند ما وقع جسم عن سطح البرج رُمي سهم بسرعةٍ ترسلهُ الى راس العامود فعلى كم قدم من سطح البرج يصيب السهم الجسم ج ٢٠٫٢٤٧٦ قدمًا

تنبيه . يفرض في القواعد السابقة ان الاجسام تسقط من اعالي قريبة الى سطح الارض . فاذا زاد البعد عن الارض نقلَّ الجاذبية كازدياد مربع البعد فتقل القوة الناتجة عنها ولا يعود الجسم يهبط ١٦ ١/١٢ قدم في الثانية الاولى من هبوطهِ وانما على بعدٍ قريب من الارض الفرق بقوة الجاذبية بزيادة العلو لا يشعر بهِ فلا يلتفت اليهِ عند استعمال القواعد. لان الجاذبية على علو نصف ميل من سطح الارض تنقص نحو $\frac{1}{٤٠٠٠}$ عنها على السطح (رقم ٣٢)

واعلم ان البين في سقوط الاجسام يساوي حاصل الوقت في نصف السرعة الاخيرة كما ان مساحة المثلث تساوي علوهُ في نصف قاعدتهِ

# الفصل الثالث

## في تركيب الحركة وحلها

٧٨ اذا كانت القوة المحركة جسمًا واحدةً سميت حركتهُ بالمفردة. واذا كانت اكثر من واحدة فاعلة على جهات مختلفة سُمّيت

مركبة. ثم ان دامت القوة تحرّك جسمًا بقوة الجاذبية سميت بالمتصلة والافهي المنقطعة وان كانت الحركة على خطٍ مستقيم فهي المستقيمة والافهي المنحنية. وقد تقدم الكلام على الحركة للمفردة بقوةٍ منقطعة كدفع جسم الى جهةٍ ما وبقوة متصلة كقوة الجاذبية الفاعلة في جسمٍ ساقط. واما القوات الفاعلة بجسمٍ الى جهةٍ واحدة او الى جهتين متقابلتين فهي كالقوة المفردة وسرعة الجسم الفاعلة هي بهِ تساوي مجموع السرعات التي تحدثها كل واحدة بمفردها غير انهُ عند الجمع يجب الانتباه الى الايجاب والسلب لانهُ اذا كانت علامةُ قوةٍ ايجابًا تكون علامة التي تقابلها سلبًا وبالعكس. والان لننظر الى الحركة المركبة المسببة عن فعل قوات متصلة او منقطعة الى جهاتٍ مختلفة

٧٩ اذا تحرك جسم بقوةٍ منقطعة الى جهةٍ ما فلا بد ان يتحرك بسرعة واحدة في خطٍ مستقيم كما اشرنا في الكلام على الاستمرار. وذلك لان القوة المحركة واحدة ولا تحركه الاّ الى جهة واحدة. ولان القوة تتغير كالسرعة مع بقاء الجسم على حالهِ يعبر بخط سرعة جسم فعلت فيهِ قوة عن القوة نفسها. واذا تحرك بقوتين منقطعتين الى جهتين مختلفتين وعبِّر عن القوتين بضلعي شكل متوازي الاضلاع كلٌّ منهما يدل على سرعة قوتهِ في واحدٍ من نفس نوع

الوقت فالجسم يجري في قطر ذلك المتوازي الاضلاع الذي يرسم من نقطة تقاطع الضلعين وذلك القطر عبارة عن سرعة قوة في واحد من ذلك النوع من الوقت وتلك القوة هي نتيجة القوتين المركبتين ولذلك تسمى القوتان مركبتين والقطر نتيجتهما

ولبيان ذلك لنفرض ان الجسم د فعلت بهِ قوة في جهة خط د ح تحركهُ في ثانية واخرى دفعتهُ في جهة د س بسرعة د س في ثانية فبما ان القوتين فاعلتان في د ح و د س لا يجري في د س ولا في د ح بل بينهما في خط د ي بحيث يكون البعد ي س على جهة د ح او على موازاته — د ح والبعد ي ح على جهة س د — س د لان القوتين قد اثرتا في حركتهِ معًا . ثم لان الجسم يسير في نصف ثانية بالقوة الاولى في د ه الذي هو نصف د ح لا بدّ ان يصل الجسم في نصف ثانية الى ل بحيث يكون ل ن يوازي د ه ويساويهِ ول ه يوازي ن د الذي هو نصف د س ويساويهِ ايضًا . و ن ه شكل متوازي الاضلاع ونسبة ن ل : ل ه :: س ي : ي ح فنقطة ل هي في القطر المستقيم د ي (اقليدس ق ٢٦ ك ٦ ) وهكذا اذا قسمنا د ح و د س الى اقسام صغيرة الى غير نهاية حتى يصير كلٌّ من الاقسام كنقطة فالجسم في كل نقطةٍ يستمر متحركًا في د ي اي يسير في ثانية في قطر شكل متوازي الاضلاع ضلعاهُ المتواليان يناسبان سرعتي القوتين. وبالضرورة يمر في خط

شكل ٣٧

د ي في نفس الوقت الذي يمر في د ح بالقوة الاولى او في د س القوة الثانية مهما فرض الوقت

٨٠ لما كان د س و د ح ( شكل ٣٧ ) خطين يدلان على القوتين المحركتين في جهتي د س و د ح و د ح = س ي فالخطان د س و س ي من مثلث د س ي يدلان ايضاً على القوتين او سرعتيهما والزاوية د س ي = ١٨٠° — س د ح والخط الثالث د ي من المثلث المذكور دالٌّ على الحركة المركبة اذاً اذا دُلَّ على سرعة قوةٍ بخط مثلث وعلى سرعةٍ اخرى بخط اخر منهُ وتعينت كمال الزاوية بينهما فالجسم تحرك بالخط الثالث من المثلث

اذا عدلت القوة د س القوة د ح (شكل ٣٧) فالجسم اذ يجري بالقوتين ينصف الزاوية د بينهما لان س د ي حينئذٍ تساوي س ي د وهذه تعدل ي د ح فاذاً س د ي = ي د ح

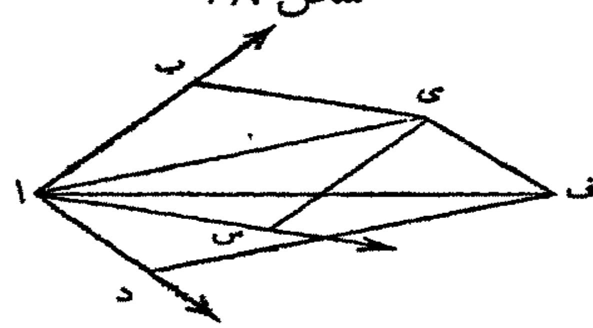
ثم من ذلك يبيّن ان الاجسام الارضية تجذبها الارض الى نحو مركزها . لانهُ اذا توهمنا رسم سطحٍ مستوٍ من جسم فوق الارض يقطعها الى نصفين بمروره في مركزها ورسم خطٍ فيهِ يمر بالمركز فالخط ينصف الدائرة القاطعة الارض من السطح المذكور وجميع الدقائق في السطح على الجانب الواحد من الخط تساوي الدقائق فيهِ على الجانب الاخر ولكل دقيقة على جانبهِ الواحد دقيقة واحدة فقط مثلها تقابلها على الجانب الاخر على بعد واحد منهُ واذا رسم خطان بين كل منهما والجسم فالزاوية بين خط المركز واحدها تعدل الزاوية بينهُ وبين الاخر ( اقل ق ٨ ك ٢ ). ولما كانت الجاذبية تفعل على خطوط مستقيمة فقوتا جذب كل دقيقتين للجسم على جانبي خط المركز تسيّرهُ بينهما بحيث تكون الزاوية بين مسيرهِ واحداهما تساوي التي بينهُ وبين الاخرى فخط مسيرهِ هو الخط المار بالمركز

٨١ اذا فعلت في جسمٍ ثلاث قوات او اكثر فالجسم يتحرك

في خطٍ يتم الشكل الكثير الاضلاع اذا مثلت بقية اضلاعهِ على القوات المعينة مرسومةً في الجهات المعينة للقوات

مثالهُ لنفرض ان جسمًا عند ا فعلت فيهِ ثلث قوات ا ب عبارة عند احداها وا س اوب ي عبارة عن الثانية وا د اوي ف عبارة عن الثالثة فالجسم يتحرك في خط ا ف .

شكل ٣٨




تمم الشكل ب س وارسم القطر اي فبالقوتين ا ب وا س يتحرك الجسم في خط ا ي وباجتماع ا د مع اي تمم الشكل د ي فالجسم يتحرك في القطر ا ف (رقم ٧٩).

فقد دُلّ بالخطوط ا ب وب ي و ي ف على القوات الثلث وجهاتها فالجسم تحرّك في الخط ا ف الرابع من الشكل ذي الاربعة الاضلاع ا ب ي ف وهكذا اذا كان الشكل ذا خمسة وما فوق

٨٣ اذا تحرّك جسم بقوتين او اكثر في وقتٍ واحد وفعلت بهِ قوةٌ تعادل نتيجة القوّتين او القوات وضد جهتها يسكن الجسم . لانهُ بمضادة نتيجة القوات تضادُّ القوات جميعها وبما انهُ يتساوى الضدان على جهتين متقابلتين تلاشي احداهما الاخرى وتكون الحركة صفرًا اي لا يكون حركة . وبالنتيجة اذا زادت المضادة على جهةٍ ضد نتيجة القوة يجري الجسم على جهة القوة المضادة بمقدار الفرق بينهما او نقصت يجري على جهة نتيجة القوات

بمقدار الفرق بينهما

مثاله اذا ضادت قوةٌ تساوي د ي الناتجة من قوتي د س و س ي (شكل ٣٧) وعلى جهة ي د ا اي ضد جهتها فالجسم يسكن عند د لانهُ اذا تساوت القوتان المتضادتان فاحداهما تمحق الاخرى فلا تظهر حركة . ومثل ذلك اذا ضادَّ جسمًا عند ا ( شكل ٣٨ ) قوةٌ تساوي ا ف نتيجة الثلث قوات المذكورة هناك وضد جهتها فالجسم يسكن لما مرَّ . وبالاجمال اذا عُبِّر باضلاع شكل مستقيم الاضلاع عن قواتٍ تتسلط على جسم وكانت احداها تضاد الجهة التي يقتضي ان تكون عليها لو كانت نتيجة بقية القوات يسكن الجسم . وبالنتيجة اذا هدأ جسم بثلث قوات ورسم مثلث على جهاتها مهما كانت اطوال اضلاع المثلث فتلك الاضلاع عبارة عن القوات ونسبة بعضها الى بعض كنسبة القوات بعضها الى بعض

٨٣ اذا فرضت القوتان المركبتان مع زاويةٍ من زوايا المثلث الدال على المركبتين ونتيجتهما . او احدى المركبتين مع زاويتين منهُ تعرف النتيجة من حساب المثلثات

مثاله اذا فرضت قوتا ب ا و ا س (شكل ٣٩ ) وزاوية ب ا س وهي كمال الزاوية التي تجعلها ا س مع ا ب عند ب تعرف ب س النتيجة وجهتها ا ب س بحساب المثلثات . وهكذا اذا فُرِضت احدى القوتين المركبتين مع زاويتين تعرف النتيجة

شكل ٣٩



٨٤ اذا عينت القوات المركبة التي عددها يزيد على اثنتين وجهاتها تعرف النتيجة بحساب المثلثات

لانهُ اذا فرض اب وب ي وي ف (شكل ٢٨) وزاويتا ا ب ي وب ي ف يعرف خط اي الذي يدل على القوة الناتجة من قوتي اب وب ي. وتستعلم زاوية ب ي ا. ثم من ا ي و ي ف وزاوية ا ي ف التي تساوي ب ي ف — ب ي ا تستعلم ا ف نتيجة القوات الثلث. اي اذا عينت ثلث قوات وتعينت زوايا القوات يعرف الخط الدال على القوة الرابعة من الضلع الرابع من الشكل الكثير الاضلاع ذي الاربعة وهكذا العمل في كل شكل كثير الاضلاع فوق ذي الاربعة

٨٥ اذا فرضت قوتان والزاوية بينهما فهناك عبارة خصوصية لمعرفة نتيجتهما

لتكن اس عوض ق (شكل ٣٠) احدي القوتين المركبتين وا ب عوض قَ الاخرى وا د — ن نتيجتهما وزاوية س ا ب — ح ثم بحساب المثلثات والهندسة ا د$^{٢}$ — ا س$^{٢}$ + س د$^{٢}$ + ٢ د س × س ا بجـ ا س د او

ن$^{٢}$ — ق$^{٢}$ + قَ$^{٢}$ + ٢ ق قَ بجـ ح اذاً ن — $\sqrt{}$(ق$^{٢}$ + قَ$^{٢}$ + ٢ ق قَ بجـ ح)

اي ان نتيجة قوتين يفعلان عند نقطة واحدة تساوي الجذر المالي من مجموع مربعي القوتين مع مضاعف حاصلهما مضروبًا في نظير جيب الزاوية بينهما

شكل ٣٠

٨٦ ان اختلاف الزاوية بين قوتين مركبتين يغير قيمة النتيجة فبازدياد الزاوية من ٠° الى ١٨٠° تتناقص النتيجة من مجموع المركبتين الى فضلتهما

في هذا الرسم (شكل ٢١) لتكن س ا ب و د ا ب زاويتين مختلفتين بين قوتين مركبتين لايتغيران اس ( او ا د ) وا ب . ولما كان س ا ب اصغر من د ا ب فكما ان ا ب ف اعظم من ا ب ي كما ان د ا ب فخط ا ف اعظم من ا ي. واذا تناقصت س اب الى ان تصل الى ٠° فالجانبان ا ب ب ف يصيران خطًا واحدًا مستقيمًا مجموعهما ا ف واذا ازدادت د ا ب الى ١٨٠° تقعُ ي على ا ب وا ي حينئذٍ يساوي الفضل بين ا ب وا س . ويصح ان تكون النتيجة اي كمية فرضت بين المجموع والفضل

شكل ٢١

٨٧ المرميات. اذا رُمي جسم بقوةٍ في جهة غير عمودية على سطح الافق بان كانت الجهة موازيةً لهُ او مائلةً عليهِ تكون حركتهُ منحنية ويمر في خط شلجمي

لانهُ بالاستمرار يتحرك بالقوة المنقطعة في خط مستقيم ولكن بقوة الجاذبية المتصلة يميل في كل لحظة عن خطٍ مستقيم فيمر في منحني شلجمي كما سنبينهُ

شكل ٢٢

لنفرض جسمًا رُمي من ط بقوةٍ توصلهُ الى ن في نفس الوقت الذي فيهِ يصل بالجاذبية الى ف. كمل المتوازي الاضلاع ط ك فبالحركتين معًا يصير الجسم اخيرًا الى ك . لتكن ت عبارة عن وقت مروره في ط ن او

لانهُ اذا فرض اب وب ي وبَ ف (شكل ٢٨) وزاويتا ا ب ي وب ي ف يعرف خط اي الذي يدل على القوة الناتجة من قوتي اب وب ي. وتستعلم زاوية ب ي ا. ثم من ا ي و ي ف وزاوية ا ي ف التي تساوي ب ي ف — بَ ي ا تستعلم ا ف نتيجة القوات الثلث. اي اذاً عينت ثلث قوات وتعينت زوايا القوات يعرف الخط الدال على القوة الرابعة من الضلع الرابع من الشكل الكثير الاضلاع ذي الاربعة وهكذا العمل في كل شكل كثير الاضلاع فوق ذي الاربعة

٨٥ اذا فرضت قوتان والزاوية بينهما فهاك عبارة خصوصية لمعرفة نتيجتهما

شكل ٣٠

لتكن اس عوض ق (شكل ٣٠) احدى القوتين المركبتين وا ب عوض قَ الاخرى و ا د — ن نتيجتهما وزاوية س اب — ح ثم بحساب المثلثات والهندسة ا د٢ — ا س٢ — س د٢ — ٢ د س × س ا بجـ ا س د او

ن٢ — ق٢ + قَ٢ — ٢ ق قَ تجـ ح اذاً ن — (ق٢ — قَ٢ + ٢ ق قَ بجـ ح)^½

اي ان نتيجة قوتين يفعلان عند نقطة واحدة تساوي الجذر المالي من مجموع مربعي القوتين مع مضاعف حاصلهما مضروباً في نظير جيب الزاوية بينهما

٨٦ ان اختلاف الزاوية بين قوتين مركبتين يغير قيمة النتيجة فبازدياد الزاوية من ٠ الى ١٨٠ تتناقص النتيجة من مجموع المركبتين الى فضلتهما

ففي هذا الرسم (شكل ٤١) لتكن س ا ب و د ا ب زاويتين مختلفتين بين قوتين مركبتين لا يتغيران اس (او ا د) وا ب . ولما كان س ا ب اصغر من د ا ب فكما ان ا ب ف اعظم من ا ب ي كان د ا ب فخط ا ف اعظم من ا ي. واذا تناقصت س ا ب الى ان تصل الى ٠° فالجانبان ا ب ب ف يصيران خطًّا واحدًا مستقيمًا مجموعهما ا ف واذا ازدادت د ا ب الى ١٨٠° تقع ي على ا ب وا ي حينئذٍ يساوي الفضل بين ا ب وا س . ويصح ان تكون النتيجة اي كمية فرضت بين المجموع والفضل

شكل ٤١

٨٧ المرميات. اذا رُمي جسم بقوةٍ في جهة غير عمودية على سطح الافق بان كانت الجهة موازية له او مائلة عليهِ تكون حركتهُ منحنية ويمر في خط شلجمي

لانهُ بالاستمرار يتحرك بالقوة المنقطعة في خط مستقيم ولكن بقوة الجاذبية المتصلة يميل في كل لحظة عن خطٍ مستقيم فيمر في منحني شلجمي كما سنبينهُ

شكل ٤٢

لنفرض جسمًا رُمي من ط بقوةٍ توصلهُ الى ن في نفس الوقت الذي فيهِ يصل بالجاذبية الى ف. كمل المتوازي الاضلاع ط ك فبالحركتين معًا يصير الجسم اخيرًا الى ك . لتكن ت عبارة عن وقت مروره في ط ن و

ط ف و تَ عبارة عن الوقت الذي ينقضي لمروره في ط م فلانة مدة حركته في ط ن يتغير الوقت كالبين ببقاء السرعة على حالها تكون

ط ن : ط م :: ت ت َ او ط نَ : ط مَ :: تَ : تَ

ولكن بحسب (رقم ٦٩) ط ف : ط ل :: تَ : تَ

فاذًا ط ف : ط ل :: ط نَ : ط مَ

او ط ف : ط ل :: ك فَ : د لَ

اذًا في هذا المنحني ط ف ∞ ك فَ اي ان الفضلة تتغير كمربع المعين بموجب حكم الشلجمي . فالمنحني ط د ك شلجمي احدا قطاره ط ف والمعدّل لذلك القطر $\frac{ك ف^2}{ط ف}$ كما يستفاد من فن قطع المخروط . ولا يلتفت الى صد الهواء لضعفه فمع صد الهواء يشعر بحركة الجسم المرمي في خط شلجمي كما اذا رُميت فتيشة في جهةٍ غير عمودية على سطح الافق . ولكن اذا اريد التدقيق الكلي بحسب صد الهواء . ولا عبرة بتغيير الجاذبية باختلافٍ قليل في العلو كما مرّ ( رقم ٣٢ ) . واما البحث عن القواعد للاجسام المرمية فلا يناسب المقام فتراجع في المطوّلات

٨٨ حل الحركة. في تركيب الحركات او القوات قد ذكرنا الطرق التي بها تعرف نتيجة القوات اذا فرضت تلك القوات المطلوب تركيبها . واما في حل القوات الان نلتفت الى الطرق التي بها نتوصل الى العكس اي الى معرفة القوات المركبة اذا فرضت النتيجة التي تتركب منها القوات

اذا سُئل ما هي القوتان اللتان تتركب منهما النتيجة ا ب ( شكل ٣٢ ) فعلينا ان نصطنع فقط متمثًا مهما كان على ا ب قاعدةً مثل ا ب س او

اب د. ثم ان كانت اس احدى المركبتين فالاخرى اف التي تساوي وتوازي س ب . وان كانت اد احداها فالاخرى اي تعدل وتوازي د ب . وهكذا في اي مثلث كان على القاعدة اب . فعدد الازواج التي نتيجة كل زوج منها اب هو غير متناهٍ

شكل ٣٣

ثم لك ان تفرض جهتي المركبتين مهما شئت فتتعينان اي تحصران في كميتين مخصصتين. ولكن يشترط في فرضهما ان تكون الزاويتان مع اب اقل من قائمتين . ولك ان تعين مقدار وجهة احدى المركبتين مهما تشاء فتتعين الاخرى

ولك ان تعين مقدار كلٍّ منهما كما تشاء شرط ان لا يكون الفضل بينهما اعظم ومجموعهما اقل من النتيجة المفروضة . وكل ذلك واضح من خصائص المثلث

ثم اذا انحلت قوةٌ الى قوتين اخريين تحلُّ كلٌّ من هاتين الى اثنتين ايضًا وكل من هاتين الى اثنتين اخريين ايضًا وهلمّ جرًّا . فمن ذلك يظهر ان قوةً مفروضةً قد تُحَلُّ الى مركبات مهما كان عددها بمقتضى الاقوال السابقة في تعيين الجهة والمقدار

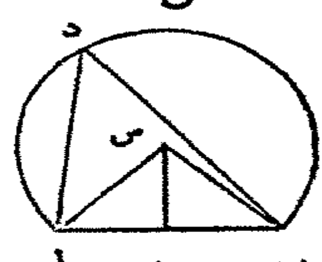
٨٩ اذا اردت ان تحل قوةً مفروضةً الى ازواج أقوات بين ضلعي كلٍّ من الازواج زاوية مفروضة فارسم على القوة المفروضة قطعة دائرةٍ ترسم فيها كمال الزاوية

لتكن ا ب القوة المفروضة ( شكل ٣٤ ) . وعلى ا ب كوتر اصطنع قطعة دائرة ا د ب برسم فيها زاوية تساوي كال الزاوية المفروضة ( اقل ق ٣٣ ك ٣ ) . فمن ثمَّ كل الازواج المركبة التي تتم الشرط المذكور تعرف برسم خطين من ا و ب الى اي نقطة من نقط الخط المنحني مثل ا د و د ب وا س و س ب الخ . واما كون القطعة يقتضي ان تحتوي كال الزاوية وليس الزاوية نفسها فلان الزاوية المفروضة تكون عند ا بين ا د وخط يوازي د ب او س ب

شكل ٣٤

ولكي تجد نصف قطر الدائرة التي فيها ترسم المركبتان لقوة ا ب كما ترى (شكل ٣٥ ) اللتان بينهما زاوية مفروضة . اجعل ا ب = ث وا د ب = ج كال الزاوية المفروضة. وارسم ا س و ب س الى المركز س وارسم س ه عموديًّا على ا ب . ثم ا س ب = ٢ ح وا س ه = ح فاذًا جـ ح : ا :: ث/٢ : ا س = ث/(٢ جـ ح)

شكل ٣٥



اي تجد نصف القطر لدائرة القطعة المذكورة اقسم القوة المفروضة على مضاعف جيب الزاوية المفروضة بين المركبتين

## مسائل منثورة

س ١ كرة من عاج الم بها ضربتان في لحظة واحدة احداها تدفعها في جهة الشرق تمامًا بسرعة ٧١ ذراعًا في الثانية والاخرى في جهة الشمال الغربي تمامًا بسرعة ٤٨ ذراعًا في الثانية ففي اية جهة وباية سرعة تحركت

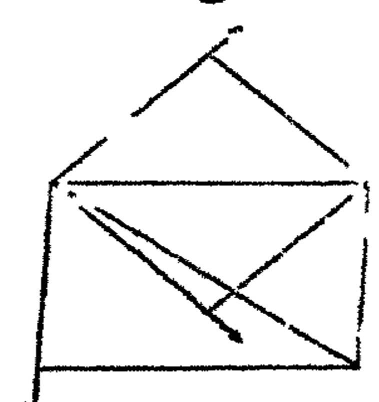
ج شمال ٣٠°٥٣ َ ٢٠ ً ٤٧ شرقي السرعة = ٥٠٫٢٣٥٣ ذراعًا

س١ بلون صعد بسرعة ١٢٠ ذراعًا في الدقيقة وعبثت به الريح فدفعته بسرعة ٢٧٠ ذراعا في الدقيقة فاية زاوية يجعل خط مره مع الخط المتسامت وكم هي سرعته في الثانية ج ٥٢" ١٦' ٢٨° السرعة — ٤٩٢٦٥٩

س٢ سافر مركب من جزيرة من جزائر الهند الى جهة جنوب الشرق بجنوب (٤٥' ٣٣°) بسرعة ٦ اميال في الساعة ثم حملة مجرى كان يجري في جهة الجنوب الغربي (ميلة على خط الهجر ١٢/٤' ٦٤°). وفي نهاية ٤ ساعات وصل الى مينا على شاطي جاقه ووجد الجزيرة المذكورة الى جهة الشمال المحض. مطلوب طول الخط الذي جرى عليه المركب حقيقة وسرعة المجرى ج الجريان — ٣٦٢٤ ميل السرعة — ٢٢٧٠٣٤

س٣ ثلث قوات متساوية دفعت جسما وكانت الاولى عمودية على الثانية وبين الثانية والثالثة زاوية ٤٥ فما هي جهة المتيجة وما هي نسبتها الى احدى القوات الثلاث

شكل ٣٦

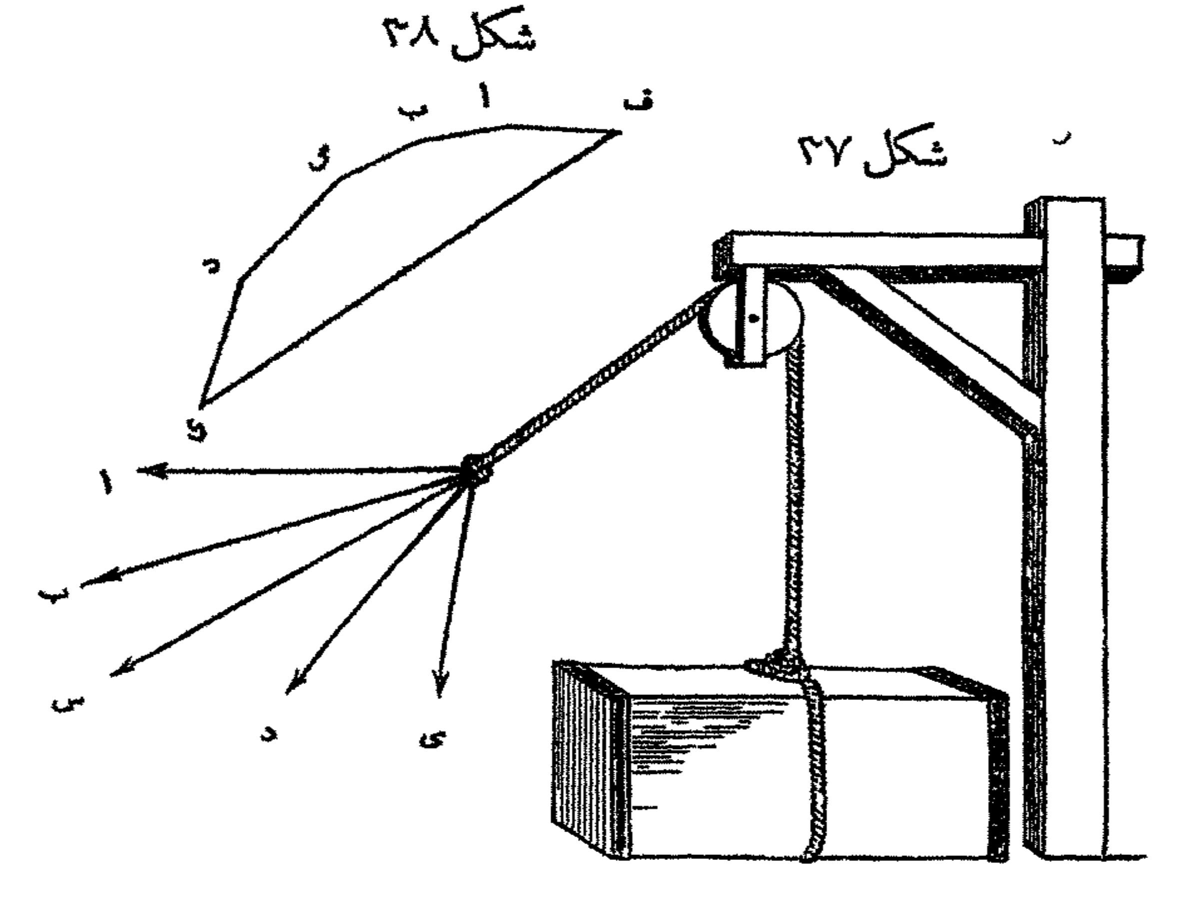


ج بينها وبين الاولى زاوية ١٦' ٨٠ ونسبتها الى احدى القوات الثلاث :: ٣٦ : ١

س٤ قارب قطع نهرًا عرضه ٤/٣ ميل في ٤٥ دقيقة والنهر يجري بمعدل ثلثة اميال فعلى اية زاوية يقتضي ان يدار القارب عن الخط العمودي الذي يقطع النهر بالعرض لكي يقطعه عموديًا بالعرض وما هو معدل سرعة القارب في الساعة ج الزاوية ٢٤' ٧١ السرعة ٣٢١٦٣

س٥ خمسة نوتية رفعوا ثقلاً بخمسة حبال مختلفة هي في سطح واحد متصلة بالحبل المربوط بالثقل كما ترى في (شكل ٣٧). و ب يسحب ويجعل مع ا زاوية ٣٠°. و س مع ب زاوية ١٩°. و د مع س ٣٠' ٢١°. و ي مع د

٣٥°. وا وب وس يسحبون بقوات متساوية. ود وي كل منها مرة ونصف




احدى الثلثة . مطلوب مقدار النتيجة وجهتها

ج زاويتها مع ا هي ١٠ ٣٣٠ ٤٦° وكميتها ٧ ١٩٥٢٠٥ اضعاف ا

اصطنع شكلاً مثل ( شكل ٣٨ ) اضلاعهُ تناسب القوات وزاوية

ف ا ب — كال الاولى وهلم جرًّا واستعلم نتيجة القوات ي ف وزاوية ا ف ي

بحساب المثلثات

س٧ مركب اتجه الى جهةٍ في جريانهِ وبواسطة مجرى جرى الى جهة

اخرى فكان معدل سرعتهِ ١٠ اميال في الساعة وميلهُ على مجراهُ ٣٦°

ومعدل سرعة المجري ٨ اميال في الساعة فما هي زاوية ميل المجرى عليهِ

ج ٥ ١٧ ٤٧° او ٥٥ ٤٢ ١٢٣°

س^٨ قوة تدفع جسماً ١٥ ذراعا في الثانية مطلوب نصف قطر دائرة القطعة التي ترسم عليها وتحل القوة الى قوتين برسم اي خطين شئنا فيها بينهما زاوية ١٣٠° ج ٩٠٧٩

# الفصل الرابع

## في مصاذمة الاجسام

٩٠ مصادمة الاجسام هي ملاقاة ومقاومة بعضها بعضاً بزخمها وفي ذلك تعتبر مرونة الاجسام وعدمها . اما الاجسام المرنة فهي ما تميل ان ترجع الى حالتها الاصلية اذا انضغطت او تغيرت هيئتها بضغط المصادمة او بطريقة اخرى بالقوة التي ضغطتها . وخلاف ذلك الاجسام العديمة المرونة ولاجسم مرن تماماً فترجع جواهرهُ بنفس القوة ضغطتهُ او خالٍ منها بالكلية فيبقى ملامساً لجسمٍ يصادمهُ . ويظهر ان مرونة النور والهواء والغازات قريبة جداً من التمام وان الرصاص والطين لكون مرونتها قليلة جداً يحسبان غير مرنين . وسائر الاجسام تختلف درجة مرونتها بينها

٩١ ان صدم جسمٌ غير مرنٍ اخرَ غير مرن ساكناً او متحركاً الى نفس جهتهِ بسرعةٍ اقل من سرعة الاول يتحرك كلاهما معاً بعد المصادمة بسرعة مجموع الزخمين على مجموع الجسمين

ليكن ل و ب جسمين وسرعتها لَ و بَ فيكون مجموع زخميهما ل لَ + ب بَ كما تقدم الكلام في الزخم (رقم ٦٤). لتكن سرعتهما بعد المصادمة س فيكون زخمهما معا حينئذٍ (ل + ب) X س فيكون ل لَ + ب بَ — (ل + ب) X س و س — (ل لَ + ب بَ)/(ل + ب) اي ان السرعة — مجموع الزخمين على مجموع الجسمين ان كان الثاني متحركا . فاذا كان الثاني ساكنا فلأن سرعته تكون صفرًا بموجب العبارة السابقة س — (ل لَ)/(ل + ب)

٩٣ السرعة التي يخسرها الجسم الاول — حاصل الثاني X فضلة السرعتين ÷ مجموع الجسمين والتي يكسبها الثاني — حاصل الاول X فضلة السرعتين ÷ مجموع الجسمين

وذلك لان التي يخسرها ل — لَ — س — لَ — (ل لَ + ب بَ)/(ل + ب) — (ب (لَ — بَ))/(ل + ب)

والتي يكتسبها الثاني — س — بَ — (ل لَ + ب بَ)/(ل + ب) — بَ — (ل X (لَ — بَ))/(ل + ب)

وان كان ب ساكنا تصير العبارتان (ب لَ)/(ل + ب) و (ل لَ)/(ل + ب)

وان تساوى الجسمان تصير العبارتان في حال حركة الجسمين (لَ — بَ)/٢ لخسارة الاول اومكسب الثاني . وفي حال سكون الثاني تصير عبارة خسارة الاول اومكسب الثاني — لَ/٢ اي نصف سرعة الاول

٩٣ اذا تصادم جسمان متحركان الى جهتين متقابلتين تكون السرعة بعد المصادمة = فضلة الزخمين قبل مقسومةً على مجموع الجسمين

وذلك لان الزخم بعد المصادمة — فضلة الزخمين قبلها اي ل لَ — ب بَ — (ل + ب) X س و س — (ل لَ — ب بَ)/(ل + ب)

والسرعة التي يخسرها الجسم الاول — حاصل الثاني X مجموع السرعتين

مقسوما على مجموع الجسمين . لانها = لَ − س = لَ − (ل(لَ − بَ))/(ل + ب) = (ب(لَ + بَ))/(ل + ب)

والسرعة التي يربحها الثاني = حاصل الاول × مجموع السرعتين على مجموع الجسمين لانها = (ل(لَ − بَ))/(ل + ب) − ( − بَ ) = (ل(لَ − بَ))/(ل + ب) + بَ = (ل(لَ + بَ))/(ل + ب)

ومن كل ذلك ينتج ان ما للجسمين من الزخم بعد المصادمة يجب ان ينقسم على مجموع مادتهما ابدًا لتعرف السرعة وبما ان الزخم كناية عن القوة فيطابق هذا القول ما قيل في القوة وهو انهُ اذا فعلت قوة في جسمٍ فانها تتفرّق على كل مادتهِ لكي تكسبهُ السرعة

في المصادمة الى جهتين متقابلتين عبارة السرعة تصير صفرًا اذا كان ل لَ = ب بَ ولكن تكون والحالة هذه نسبة ل : ب :: بَ : لَ . فاذًا ان كانت سرعتا جسمين بالقلب كمقداريهما يسكنان بعد المصادمة

## مسائل منثورة

س١ وزن ل = ٣ ارطال وسرعتهُ = ١٠ اقدام كل ثانية ووزن ب رطلان وسرعتهُ ٣ اقدام كل ثانية مطلوب سرعتهما بعد المصادمة الى جهةٍ واحدة ج ٧١/٥ اقدام كل ثانية

س٢ ل = ٧ ارطال وسرعتهُ ١١ قدمًا كل ثانية صادم ب ساكنًا وزنهُ ١٥ رطلاً فما هي السرعة بعد المصادمة ج ٣١/٢ قدمًا كل ثانية

س٣ وزن ل = ٤ ارطال وسرعتهُ ٩ اقدام كل ثانية وزن ب رطلين وسرعتهُ ٥ اقدام تحركا الى جهتين متقابلتين مطلوب السرعة بعد المصادمة ج ٤١/٣ قدمًا كل ثانية

س٤ ل = ٧ ارطال وسرعتهُ = ٩ وب = ٤ وسرعتهُ = ٣ تحركا الى

جهةٍ واحدةٍ فكم من السرعة خسرها ل وكم من السرعة اكتسبها ب

ج خسارة ا — ٣٦/١١ ومكسب ب ٤٥/١١

س٥ تحرك جسم بسرعة ٧ اقدام كل ثانية وصادم آخر متحركًا الى الجهة المتقابلة بسرعة ٣ اقدام كل ثانية فخسر نصف زخمهِ فما هي نسبة احدهما الى الاخر ج ا : ب :: ١٣ : ٧

س٦ وزن ل — ٦ ارطال ووزن ب — ٥ ارطال تحرك ب بسرعة ٧ اقدام كل ثانية الى جهة ل وبالمصادمة تضاعفت سرعة ب فما هي سرعة ل قبل المصادمة ج ١٩ ٥/٦ قدمًا كل ثانية

## ٩٤ اذا صادم جسم مرن اخر مرنًا تكون خسارة الاول مضاعف ما يخسرهُ لو كان غير مرن ومكسب الثاني كذلك

وذلك لان الجسم بمرونتهِ يعود الى حالتهِ الاولى بقوةٍ تساوي القوة او الزخم الضاغط . وذلك لان انضغاط الجسم المرن قد لاشى زخم مصادمهِ فسكنهُ بدوام مقاومة جواهرهِ المنضغطة اياهُ منذ لامسهُ الى حين سكونهِ فبرجوع المصادم من حال السكون يكتسب الزخم نفسهُ بدوام نفس مقاومة الجواهر بالرجوع الى هيئتها . وذلك يشبه الجسم المرمي الى اعلى بقوةٍ لان الجاذبية تبقى تضادهُ الى ان ينتهي الى علوٍ يكتسب بالجاذبية نفسها برجوعهِ منهُ الى الارض تلك القوة التي رُمي بها . فاذا تصادم جسمان متساويان غير مرنين مثلاً فان الثاني يكتسب ما يخسرهُ الاول بتفريق الزخم . ولكن ان تصادم كرتا عاج متساويتان على فرض كون العاج مرنًا تمامًا فالجسم الاول لا يخسر ما يكسبهُ للثاني فقط بل بمرونة الثاني تتضاعف خسارتهُ وبمرونة الاول يتضاعف مكسب الثاني كذلك . فينتج لنا من ذلك قاعدة عمومية لمعرفة السرعة لمصادمة الاجسام المرنة وهي

استعلم خسارة الجسم الاول ومكسب الثاني كما لو كانا غير مرنين ثم ضاعف الخسارة واجمع الضعف الى سرعة الاول قبل المصادمة فيكون لك سرعتهُ بعد المصادمة . ثم ضاعف مكسب الثاني واضف المضاعف الى سرعتهِ كذلك فيكون لك سرعتهُ

تنبيه . يجب في ذلك الانتباه الى الايجاب والسلب فما حسبتهُ من السرعة الى جهةٍ ايجابًا فاحسب ما الى جهة تقابلها سلبًا وان حسب المكسب ايجابًا فاحسب الخسارة سلبًا

فبموجب القاعدة المذكورة ومراعاة (رقم ٩٢ و٩٣) تصير

اذا تصادم الجسمان سائرين الى جهة واحدة سرعة $\text{ل} = \text{لَ} - \frac{\text{٢ب(لَ} - \text{بَ)}}{\text{ل} + \text{ب}}$

وسرعة $\text{ب} = \text{بَ} + \frac{\text{٢ل(لَ} - \text{بَ)}}{\text{ل} + \text{ب}}$

واذا تصادما سائرين الى جهتين متقابلتين سرعة $\text{ل} = \text{لَ} - \frac{\text{٢ب(لَ} + \text{بَ)}}{\text{ل} + \text{ب}}$

وسرعة $\text{ب} = - \text{بَ} + \frac{\text{٢ل(لَ} + \text{بَ)}}{\text{ل} + \text{ب}}$ . . . . .

وبتحويل هذه العبارات نستخرج سرعات الاجسام المرنية بعد المصادمة

(١) الى جهة واحدة سرعة $\text{ل} = \frac{\text{لَ(ل} - \text{ب)} + \text{٢ب بَ}}{\text{ل} + \text{ب}}$

(٢) . . . $\text{ب} = \frac{\text{بَ(ب} - \text{ل)} + \text{٢ل لَ}}{\text{ل} + \text{ب}}$

(٣) . جهتين متقابلتين . $\text{ل} = \frac{\text{لَ(ل} - \text{ب)} - \text{٢ب بَ}}{\text{ل} + \text{ب}}$

(٤) . . . $\text{ب} = \frac{\text{بَ(ل} - \text{ب)} + \text{٢ل لَ}}{\text{ل} + \text{ب}}$

٩٥ اذا تصادم جسمان مرنان متساويان يتبادلان في السرعة اي ان كلاًّ منهما ياخذ التي كانت للاخر اصلاً

فان كان ل = ب فالعبارة (١) تصير بَ والعبارة (٢) تصير لَ . اي ان ل تحصلت لهُ سرعة ب وب سرعة ل . وذلك يصح فيما اذا تصادما في جهةٍ متقابلة . لانهُ ان كان ل = ب فالعبارة (٣) تصير − ب

التي كانت سرعة بُ الاصلية والعبارة (٤)" تصير لَ السرعة التي للجسم. ل اصلاً. فاذاً اذا كانت حركتا الجسمين المرنين المتساويين في جهتين متقابلتين فالمصادمة ترجع كلاًّ منهما وفي الرجوع + لَ يصبح — بَ و — بَ يصّير + لَ

وان حولنا العبارات الاربع المذكورة باعتبار ان ل = ب وب ساكن تحصل المبادلة المذكورة نفسها لان العبارة (١) تصير صفرًا والعبارة (٢) تصير لَ وهكذا العبارة (٣) تصير صفرًا والعبارة (٤) تصير لَ

٩٦ اما مصادمة الاجسام المرنة غير المتساوية فسنضع لها ثلاث ملاحظات

١ اذا صادم جسم مرن اخر مرن اصغر ساكنا فالمصادِم يبقى سائرًا الى قدام ولكن بسرعة اقل والمصادَم يسبقهُ بسرعة اعظم مما كانت للمصادِم اولاً. لان العبارة (١) تصير $\frac{لَ(ل - ب)}{ل + ب}$ التي هي ايجاب وانما اصغر من لَ. فاذًا يبقى المصادم متقدمًا في سيرهِ ولكن بسرعةٍ اقلّ من قبلُ. واما العبارة (٢) فتصير $\frac{٢ل لَ}{ل + ب}$ وهي اعظم من لَ. فاذًا ب يسير بعد المصادمة اسرع من ل قبلها

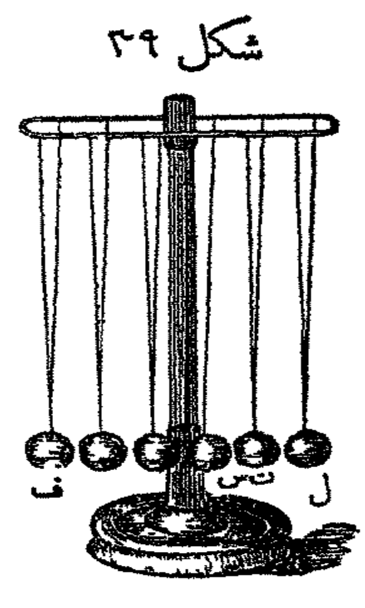
٢ اذا صادم جسم مرن اخر مرن اكبر منهُ ساكنًا يرجع عن مسيرهِ والآخر يسير متقدِما وانما بسرعةٍ اقل من التي كان المصادم سائرًا بها. وذلك لان $\frac{لَ(ل - ب)}{ل + ب}$ هي سلب و$\frac{٢ل لَ}{ل + ب}$ هي اقل من لَ

٣ اذا تصادم جسمان مرنان في جهتين متقابلتين لهما سرعتان متساويتان وسكن احدهما فمقدارهُ ثلاثة اضعاف مقدار الآخر. لانهُ لما كانت السرعتان متساويتين فالعبارة (٢) تصير $\frac{لَ(ل - ب) - ٢ لَ ب}{ل + ب} = ٠$ اي لَ(ل - ب) - ٢ لَ ب = ٠ و ل = ٣ ب

٩٧ ان التجربة توضح لنا كل ما قيل في الاجسام المرنة لانهُ اذا أُخذت اجسام مرنة وجعلنا احدها يصادم الاخر بحسب الاحوال المذكورة سابقاً نظهر لنا صحة ما قيل في كل حال . واذا تذكرنا بعض ملاعب الاولاد تتأكد ذلك ايضا لانهُ في لعب الكلة اذا انصبت كلة اللاعب بعد دفعهِ اياها بقوةٍ شديدة باصبعهِ على كلة رفيقهِ الساكنة التي قصد ان يصيبها فالكلة الثانية نفر بسرعةٍ وتستقر الاولى في مكانها . وهكذا في لعبة الخوط نوع من لعب الكعاب الكعب الذي يصدم صف الكعاب المضروب يدفع الذي يصيبهُ ويستقر مكانهُ

٩٨ اذا تعلق اجسامٌ مرنة حتى تكون في صفٍ واحد مستقيم وصادم الجسم على احد الطرفين بقية الصف يرسل زخمهُ الى الجسم على الطرف الاخر ويفعل بهِ بواسطة الاجسام المتوسطة. ولا يخلو اما ان تكون الاجسام متساويةً او متناقصة او متزايدة ولننظر الان الى هذه الاحوال الثلاثة

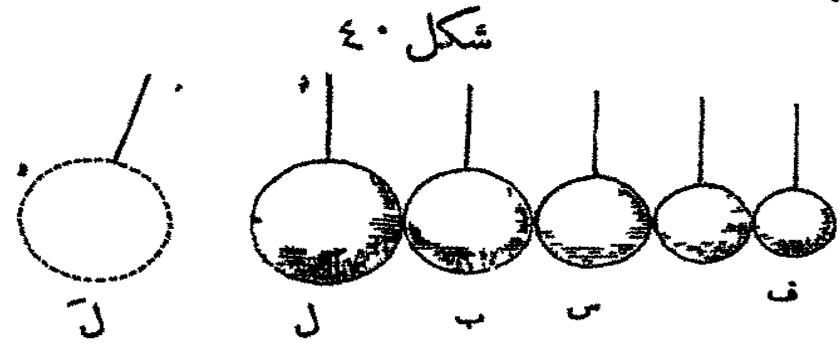
شكل ٣٩




١ لتكن ل ب س ... ف اجساماً مرنة متساوية معلقة حتى تكون في صف مستقيم يماس احدها الاخر كما في (شكل ٣٩). ثم اذا رُفع ل الى خلف وترك ليقع على ب يسكن بعد المصادمة و ب يميل ان يسير بسرعة (رقم ٩٥) . وبعد مصادمة ب للجسم الذي بعدهُ س يهدا ب ويميل س ان يتحرك بتلك السرعة نفسها وهكذا ترسل الحركة في الصف الى آخرهِ و ف تزول من مكانها اذ يبقى سائر الصف ساكناً

٢ الاجسام المتناقصة مثل ل ب س الخ اذا رُفع ل منها الى لَ كما في (شكل ٤٠) وترك ليسقط على ب فحسب (رقم ٩٦) يبقى متحركًا الى قدام اذ يكتسب ب سرعةً اعظم من سرعة ل الاصلية وس يكتسب سرعةً اعظم الخ

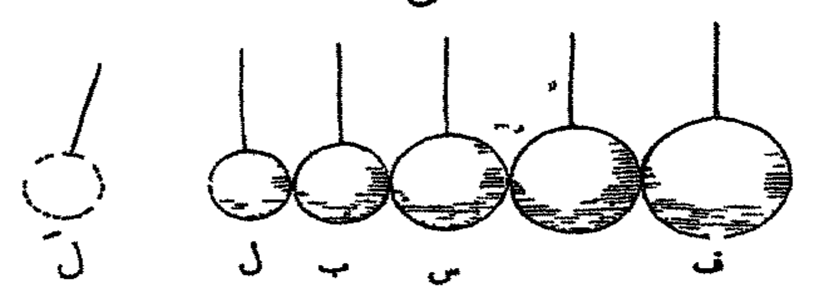
شكل ٤٠




فالجسم الاخير في الصف يتحرك اذًا باعظم سرعةٍ وكلٌّ من الصف بسرعةٍ اعظم مما لمصادمه

٣ اذا كانت اجسام متزايدة في صف مثل ل ب س الخ (شكل ٤١) فان سقط ل من لَ على ب يكتسب سرعةً اقل مما كانت له ويفر راجعا

شكل ٤١




(رقم ٩٦). وعلى هذا الاسلوب ب يرجع عن س وهلمّ جرًّا اذ يسير الاخير من الصف متقدمًا بسرعةٍ اقل من السرعة التي تكون لسابقهِ لو كان اخيرًا

ان كانت الاجسام في (شكل ٤٠) على سلسلة هندسية فسرعة الاول الى سرعة الاخير هي مثل ١ : $\left(\frac{٢}{١+ف}\right)^{ع-١}$ اذا حسب ف التناسب

لكن السلسلة ل ، ل ف ، ل ف$^{٢}$ .. ، ل ف$^{ع-١}$ اذا كانت ع عدد الحلقات فبحسب ( رقم ٩٦ ) اذا ل صادم ب ساكناً فسرعة ب تكون

$$\frac{٢ل\,لَ}{ل+ب} = \frac{٢ل\,لَ}{ل+ل\,ف} = \frac{٢لَ}{١+ف} = بَ$$

ايضاً سرعة س هي $\frac{٢ب\,بَ}{ب+س} = \frac{٢ل\,ف}{ل\,ف+ل\,ف^{٢}} \times \frac{٢لَ}{١+ف} = \frac{٢^{٢}لَ}{(١+ف)^{٢}}$

فالسرعات المتتابعة هي لَ ، $\frac{٢لَ}{١+ف}$ ، $\frac{٢^{٢}لَ}{(١+ف)^{٢}}$ الخ . فيظهر من ذلك ان اية حلقةٍ في السلسلة تعرف بضرب السرعة الاصلية في ٢ مرقي الى قوةٍ اقلَّ من عددِ الحلقات بواحد وقسمة الحاصل على ١+ف مرقًى الى تلك القوة. وبالنتيجة الحلقة الاخيرة هي $\frac{٢^{ع-١}}{(١+ف)^{ع-١}}$

$\frac{٢^{ع-١}لَ}{(١+ف)^{ع-١}}$ فاذاً سرعة الاول : سرعة الاخير :: لَ : $\frac{٢^{ع-١}لَ}{(١+ف)^{ع-١}}$ :: ١ : $\left(\frac{٢}{١+ف}\right)^{ع-١}$

٩٩ اذا صادم جسم غير مرن حائطاً غير مرن وخط مسيرهِ عموديٌّ عليهِ يسكن عند الحائط لان الحائط يصادمهُ بنفس زخمهِ . واذا صادم جسم مرن حايطاً مرناً يرجع بالقوة او الزخم الاصلي الذي كان لهُ قبل المصادمة

ولبيان ذلك لنفرض الجسم ل صادم ب بسرعةٍ ما و س يعدل الجسم ل ويتحرك بسرعتهِ وقد صادم الجسم ب ايضاً من جهةٍ متقابلة في نفس الوقت

شكل ٤٣




الذي صادمهُ ل فان الجسمين ل و س يثبتان على جانبي ب ويضغط كلٌّ واحد منهما عليهِ بمقدار زخمهِ وهو يضغط على الاخر بمقدار ذلك . وذلك لان المتوسط ب ليس الاَّ واسطة لايصال زخم ل الى س في الجهة المتقابلة وزخم س

الى ل كما رايت ( رقم ٩٨ ) وبما ان الجسمين متساويين تكون ( رقم ٩٣ ) السرعة بعد المصادمة س = $\frac{ل لَ - ل لَ}{٢ل}$ = . فتكون حركتهما بعد المصادمة صفرًا اي لا حركة لهما ويكون ب ثابتًا. فاذا فرضنا ب حائطًا ثابتًا عموديا على خط مسير الجسمين ليمر في نقطة تماسهما وقوة ثبوته تكفي او تزيد زخم ل وصادمهُ ل يسكن عندهُ ويصد الحائط بثبوتهِ بقوةٍ اوزخمٍ يعادل زخمهُ ويضغط كلٌّ منهما على الاخر بمقدار زخم ل. ثم اذا فرضنا ل والحائط الثابت عند ب جسمين مرنين يرجع ل بمرونتهِ بالقوة ا و السرعة التي كانت لهُ نفسها ( رقم ٩٤ )

## ١٠٠ اذا صادم جسم كروي غير مرن حائطًا ثابتًا مستقيما يقع الخط من مركز ثقلهِ الى نقطة المماسة عموديًا على الحائط سواءٌ كان الحائط عموديًا على جهة مسيرهِ ام لم يكن

ليصادم الجسم الكروي ب الحائط ا س دسائرًا في جهة الخط ل س او في خط اخر فان كان ذا كثافة واحدة فمركز ثقلهِ مركز الجسم نفسهُ وواضحٌ ان الخط من مركزهِ ب الى نقطة المماسة حينئذٍ عموديٌّ على الحائط. وان كان جانبهُ ح اكثف من بقية اجزائهِ حتى يصير مركز ثقلهِ عند م مثلاً فاذا رسمنا م ص على جهة ل س يقع خارج نقطة المماسة ويدور الجسم حينئذٍ حتى يمر الخط ب س من مركزهِ الى نقطة المماسة بمركز الثقل م. وذلك لان الخط ل ب س مع ان ب مركز مساحة الجسم لا ينصف مادتهُ لعدم مرورهِ بمركز الثقل منتصف المادة (رقم ٤٩) ولان الجانب ل ح س سرعتهُ سرعة الجانب الاخر من الجسم ومادتهُ تزيد على مادتهِ يغلب زخمهُ عليهِ فيدور حتى

شكل ٤٣

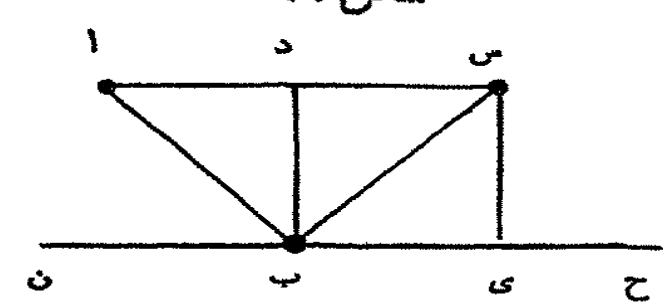
ا ح ص م ل س ب د

يصير مركز الثقل في الخط ب س واذا فاتهُ بالاستمرار يرجع اليهِ بعد عدة خطرات . فحكمة حكم الجسم المستدير الذي يوضع على سطح افقي ومركز ثقلهِ ليس في الخط المسامت تحت نقطة التعليق ( رقم ٥٩ )

## ١٠١ اذا صادم جسم مرن تام المرونة متساوي الكثافة حائطاً تكون زاوية الوقوع وزاوية الانعكاس متساويتين

لنفرض الجسم ا غير مرن متساوي الكثافة صادم الحايط ح ن في النقطة ب بالسرعة ا ب وهي عبارة عن القوة التي تحركهُ . فبعد مصادمتهِ الحايط لا يرجع لكونهِ جسماً غير مرن ولا يقف لكونهِ لا يصادمهُ في جهة عمودية ( رقم ٩٩ ) بل يسير في جهة ب ح . حل القوة ا ب الى القوة ب د العمودية على الحايط ضغط الحايط على الجسم او الجسم عليهِ ( رقم ١٠٠ ) والى د ا على موازاة الحايط فالجسم يسير في الخط ب ي الذي يعدل ا د في وقت مسيرهِ ا الى ب

شكل ٤٤




ثم اذا فرض ا مرناً فمرونتهُ ترجعهُ من ب الى د في وقت مسيرهِ من ب الى ي وبالقوتين يجري في خط ب س قطر المتوازي الاضلاع د ي ( رقم ٧٩ ) . ثم لان د س = د ا لكون كلاهما يساوي ب ي و د ب مشترك بين المثلثين ا د ب س د ب وزاوية س د ب = ا د ب فالمثلثان متساويان وزاوية ا ب د التي تعرف بزاوية الوقوع تساوي د ب س المعروفة بزاوية الانعكاس . وقد تسمى ا ب ن زاوية الوقوع و س ب ي زاوية الانعكاس وهما متساويتان ايضاً كما لا يخفى

١٠٢ ينتج مما تقدم انهُ اذا صادم الجسم حايطًا مستقيمًا وجرى على هذا الناموس اي اذا كانت زاوية الوقوع لهُ بعد المصادمة تساوي زاوية الانعكاس فهو تام المرونة ولذلك نحكم ان جواهر الهواء وسائر الغازات والنور تامة المرونة او مرونتها قريبة جدًّا من التام لان الصوت الناتج عن ارتجاجات الهواء اذا صادم سطحًا وانعكس عنهُ تكون زاوية الوقوع وزاوية الانعكاس لهُ متساويتين كما سياتي في السماعيات. وكذلك زاوية الوقوع وزاوية الانعكاس للنور اذا انعكس عن سطح املس يلاحظ انهما متساويتان تمامًا كما سياتي في البصريات

ثم لان بعض الاجسام كالعاج والعظم غير تامة المرونة فلا تنعكس على هذا الناموس تمامًا لانهُ اذا صادمت كرةٌ من عاج سطحًا مرنًا فزاوية الانعكاس لها تختلف عن زاوية الوقوع لانها اذا كانت غير تامة المرونة لا ترجع بنفس القوة التي صادمت السطح بها فيصغر د ب حينئذٍ مع بقاء ب ي او د س (شكل ٤٤) فتكبر زاوية د ب س وتفوت المساواة لزاوية ا ب س

١٠٣ ويظهر ايضًا من (رقم ١٠١) انهُ اذا ضادت قوة غير عمودية جسمًا تؤَثر فيهِ فقط بمقدار قوةٍ يعبر عنها بخط بين الجسم وعاموديّ من طرف خطها غير الملاقي الجسم على خط مسيرهِ

لانهُ اذا ضادَّت قوة مثل س ب الجسم ب جاريًا او ساكنًا مجذوبًا الى جهة ب ج فانها تضادهُ بمقدار ي ب لان القوة س ب = ا ب و ي ب

دا . ولا يخفى انهُ اذا كان ب سائراً او ساكناً مجذوباً الى جهة ب ح بقوةٍ تساوي ب ي يسكن او تزول القوة الجاذبة لهُ بقوة س ب او بقوةٍ اعظم او اقل من ب ي فيجري في جهة ب ح او ب ن بقدر الفرق بقوة س ب

١٠٤ ان من احسن اعتبارهُ في كل ما قيل في المصادمة لا يخفى عليهِ ان كلاً من الجسمين المتصادمين يوثّر في الاخر ويتأثر منهُ . لان الجسم غير المرن بمصادمتهِ اخر يكسبهُ زخماً ويخسر من زخمهِ بمصادمة الآخر لهُ اذ يغير الاول استمرار الثاني سواءٌ كان الثاني ساكناً او متحركاً وهكذا يقال في الاجسام المرنة. ومثل ذلك اذا صادم رجل حائطاً برفسهِ اياهُ برجليهِ يرجع اليهِ من الحائط نفس الزخم الذي صادمهُ بهِ لثبوتهِ (رقم ٩٩) فيصبح خاسراً ولا يمكنهُ ان يضر الحائط بل انما يضرُّ نفسهُ . وكذلك اذا جذب رجل حبلاً مربوطا بعمودٍ ثابت. فالقوة لسبب ثبوت العمود ترجع الى الحبل ويجذب الرجل فينسحب هو الى قدام بذات القوة التي جذب بها الحبل وقس على ما ذكر ما لم يذكر. ويعبّر عن تاثير المصادِم بالمصادَم عند الطبيعيين بالفعل وعن تأثر الاول من الثاني بالانفعال او ردِّ الفعل فلا بد في كل مصادمة من فعلٍ وانفعالٍ معاً ولا يكون الاول دون الثاني ولا الثاني دون الاول

## مسائل على الاجسام المرنة

س١ وزن ل ١٠ ارطال يسير ٨ اذرع في الثانية صادم ب الذي وزنهُ ٦ ارطال ويسير في نفس جهة ل بسرعة ٥ اذرع في الثانية فما هي سرعة ل و ب بعد المصادمة ج سرعة ل = ٥ ٣/٤ وسرعة ب = ٨ ٣/٤

س٢ ل : ب :: ٤ : ٣ والجهة واحدة والسرعتان مثل ٥ : ٤ فما هو تناسب سرعتيهما بعد المصادمة ج ٣٩ : ٣٦

س٣ وزن ل ٤ ارطال وسرعتهُ ٦ لاقى ب الذي وزنهُ ٨ ارطال وسرعتهُ ٤ مطلوب سرعة كلٍّ وجهتهُ بعد المصادمة

ج ل فرَّ راجعًا بسرعة ٧ ١/٣ و ب سار في جهة مسيرهِ بسرعة ٣ ٢/٣

س٤ ل و ب يتحركان في جهتين متقابلتين و ل = ٤ ب و بَ = ٢ لَ فكيف يتحرك الجسمان بعد المصادمة

ج ل يرجع بخمس سرعتهِ الاصلية و ب يسير بسرعة ١ ٢/٥ سرعتهِ الاصلية

س٥ ١٠ اجسام تزداد مقاديرها على سلسلة هندسية بتناسب هندسي ٢ والاول يصدم الثاني بسرعة ٥ اذرع كل ثانية . مطلوب سرعة الجسم الاخير ج سرعتهُ ٥/٥١٢

# الفصل الخامس

## في قوة التباعد عن المركز

١٠٥ قوة التباعد عن المركز هي تلك القوة التي تجذب جسمًا متحركًا في دائرة الى جهةٍ تقابل جهة مركز تلك الدائرة من الجسم

اذا تحرك جسمٌ في خطٍ مستقيمٍ ثمَّ رُدَّ عن خط حركتهِ لكي يتحرك في دائرة تكون حركتهُ نتيجة حركتين مركبتين احداهما منقطعة والآخرى متصلة . ليتحرك جسمٌ من ا في جهة ا د بقوةٍ تسيِّرهُ الى د ثمَّ ليجذَب الى جهة المركز س لكي يتحرك في دائرة ا ب ف بقوةٍ متصلة توصلهُ الى ي في نفس وقت وصولهِ الى د فيجري الجسم في القوس ا ب قطر د ي المتوازي الاضلاع نتيجة القوتين في ذلك الوقت نفسهِ (رقم ٧٩) . ولا يخفى انهُ بالقوة ا ي قد جُذِب الجسم عن استمرار جريانهِ في خط ا د الى جهة المركز فبرد الفعل ( رقم ١٠٤ ) يضاد تلك القوة بقوة تساويها تجذبهُ الى خلاف جهة المركز سواءٌ كان معلقًا بشيءٍ ثابت كمسمار عند المركز س ام لم يكن معلقًا وادير بقوةٍ الى جهة المركز . فالقوة بردِّ الفعل المشار اليها التي تجذبهُ الى جهةٍ تقابل جهة س منهُ هي قوة التباعد عن المركز التي مرَّ تعريفها

شكل ٤٥



ان قوة الجذب الى جهة المركز تساوي قوة التباعد عن المركز لان الثانية رد فعل منها كما اشرنا فهي بموجب ( رقم ١٠٤ ) متساوية لها وتسمى بالقوة المركزية

ثم ان الجسم بالاستمرار بالقوة التي حركتهُ في خطٍ مستقيم يميل في سيرهِ في كل نقطةٍ من محيط الدائرة ان يتحرك في خطٍ مستقيم مماسٍ للدائرة مثل خط ا د (شكل ٤٥). فاذا انقطعت القوة المركزية تبقى قوة الاستمرار ويسير الجسم في مماس الدائرة . ولكن اذا كان مسيرهُ في جهةٍ افقية او مائلة عن الافق فانهُ يتحرك في خطٍ شلجمي ( رقم ٨٧ ) وان كان عموديا على الافق يجري في خطهِ الى فوق او الى تحت

ومما يوضح قوة التباعد عن المركز حركة المقلاع . فانهُ يعلق طرفهُ الواحد باليد ويمسك الآخر غير معلق اذ يوضع فيهِ حجر وبها يُدار بقوةٍ متصلة اذ تكون هي مركز حركتهِ لكي تتسارع حركتهُ برهةً ثمَّ يفلت الطرف غير المعلق فبقوة التباعد عن المركز يرتمي الحجر في خطٍ شلجمي مماس لدائرتهِ الى بعدٍ لا تقدر اليد ان توصلهُ اليهِ لان قوة التباعد تكون اشد في المقلاع منها في يدهِ اذ لا يمكنها ان تسرع في حركتها مثل الأوَّل . وعلى هذا المبدا تتطاير الاوحال من دواليب العربايات شتاء . ولا يخفى انهُ كلما كبرت الدواير يرتمي الجسم بزخمٍ اقوى لانهُ بتوسيع الدائرة مع بقاء وقت الدوران في كل الدائرة على حالهِ تزداد السرعة كمحيطها فيقوى زخم الجسم وبالنتيجة تقوى قوة التباعد . ولذالك المقلاع الاطول يرمي الى ابعد اذا أُدير بسرعةٍ واليد الطولى كذلك

شكل ٤٦

واذا رُبطت اسفنجة بخيطٍ ثم بلت بماء وأُديرت بسرعةٍ فالماء يتطائر منها الى كل الجهات بسبب قوة التباعد عن المركز. وعلى هذا الاسلوب قد تجفف الثياب المغسولة احيانًا في محلاَّت الغسيل وذلك بان تدار بسرعة بعد وضعها في دولاب آلة التجفيف فيفلت الماء بقوة التباعد وتجف الثياب. وسرعة الف وخمس مئة دورة في الدقيقة قيل انها كافية لتجفيف الثياب كليًّا مهما كانت مبتلة اصلاً

اذا رُبطَ دلوٌ ملآن ماء بحبل ثمَّ ادير بسرعةٍ لا يسقط الماء منهُ مع انهُ ينقلب بدورانهِ الى فوق ولا يبقى مانع لهبوط الماء

بالجاذبية اذ يصل الى الجهة العليا كما ترى ( شكل ٤٦ ) . وذلك مسبب ايضًا عن قوة التباعد من ادارة الدلو بسرعة الغالبة الجاذبية التي لولاها لا نصب الماء منهُ حالاً عند انقلابهِ الى فوق كما اذا قلبناهُ بدون ادارتهِ على هذا الاسلوب

١٠٦ اذا سار جسم في قوس دائرة حول مركزها يكون سهم جيب ذلك القوس عبارةً عن قوة التباعد وجيبهُ عبارة عن القوة التي تحركهُ في خطٍ مستقيم ويحسب ذلك القوس نتيجتهما

ليمر الجسم ا في قوس ا غ بقوةٍ تحركهُ في خطٍ مماس للدائرة وبقوة التباعد . اقسم هذا القوس الى ثلاثة اقسام متساوية ا ر ر و و غ (شكل ٤٧) وليتحرك الجسم ا بقوةٍ تحركهُ على خط مستقيم في جهة ا ح ولتجذبهُ القوة ا ب الى جهة المركز م ولنفرض انها منقطعة فالجسم يجري في القطر المستقيم ا ر . ثم لنفرض قوة ر ن جذبتهُ الى جهة المركز وكان يصل من ر الى ن بينما يجري من ر الى ك على استقامة خط ا ر تكون ر ن قوة التباعد

شكل ٤٧

و ن و او ر ك الاخرى ونتيجتهما و ر . ارسم ر ق يوازي ب س ويعدلهُ ومن ق ارسم و ق س يوازي ر ب فالقوتان ر ق و ق و تساويان ر ن و ن و ولان ر و نتيجة كلٍ من الزوجين اذا تركبتا (رقم ٨٨) تكون ا س قوة التباعد على خط ا م عند وصول الجسم الى و ولان ر ق = ب س وتكون س و عبارة عن القوة

التي تحرّك الجسم في خطٍ مستقيم . وهكذا يمكن انّ يبين ان ا د عبارة عن قوة التباعد و د غ عبارة عن القوة الآخرى عند وصول الجسم الى غ وهكذا اذا قسم القوس ا غ الى اقسام صغيرة الى غير نهاية حتى تصبح الاوتار الصغيرة نقطًا في دائرة يبين على الاسلوب المذكور ان ا د عبارة عن قوة التباعد ود غ عن القوة الاخرى. وانما ا د هو سهم جيب القوس ا غ وغ د جيبهُ

## ١٠٧ لكي تستعلم قوة التباعد عن المركز لجسم دائر في الثانية الاولى اقسم مربع سرعتهِ على قطر دائرتهِ

ليدار الجسم ا في القوس ا ب في لحظةٍ من الوقت هي جزء من ثانية صغيرٌ الى غير نهاية نفرضها ت بقوتي ي ب و ا ي (رقم ١٠٦) حولَ المركز س . ولنفرض س = سرعة الجسم في ثانية و ط = طول نصف القطر ا س و ق = قوة التباعد اعني البين الذي ينزلهُ الجسم بهذه القوة في القطر ا ف في ثانية و ت = الوقت فحينئذٍ ا ب = س × ت. ولما كانت قوة

شكل ٤٨

التباعد متصلة كالجاذبية فهي تتغير مثلها كمربع الوقت بموجب برهان سقوط الاجسام بالجاذبية فتكون ا ي = ق ت$^{٢}$ ولكن لما كان ا ب قوسًا صغيرًا جدًّا يسوغ ان نحسبهُ كوترهِ الذي هو متناسب متوسط بين ا ف القطر اي ٢ ط واي فتكون ق ت$^{٢}$ = $\frac{\text{س}^{٢}\text{ت}^{٢}}{\text{٢ط}}$ او

$$\text{ق} = \frac{\text{س}^{٢}}{\text{٢ط}} \qquad (١)$$

وان تضاعفت هذه بموجب (رقم ٧٢) تصير $\frac{\text{س}^{٢}}{\text{ط}}$ السرعة التي تحدثها قوة التباعد بحركة متساوية في ثانية واحدة وهذه احيانًا قياس قوة التباعد كما انهُ في الاجسام الساقطة قد يجعل قياس قوة الجاذبية ج = ٦/١ ٣٢

سرعتها في الثانية الثانية على فرض بطلان الجاذبية في اخر الثانية الاولى من (١) ينتج انهُ في دوائر متساوية قوة التباعد عن المركز تتغير كمربع السرعة اذا اعتبرنا دوران الجسم مرة في كل دائرتهِ فعبارة قوة التباعد تكون كما سترى . لنفرض تَ يساوي وقت دورة تامة ولنفرض م = ٣٫١٤١٥٩ نسبة المحيط الى القطر فيكون ٢ م ط = س تَ او $س = \frac{٢م ط}{تَ}$ وبالتعويض عن هذه في (١) تصير

$$ق = \frac{٤م^٢ط}{تَ^٢} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٢)$$

فاذاً قوة التباعد عن المركز تتغير بالاستقامة كقطر الدائرة وبالقلب كمربع وقت دورةٍ . ثم لنفرض ث = ثقل جسم دائر وقَ = قوة التباعد عن المركز معبراً عنها بارطال وج البين الذي يسقط فيهِ الجسم في ثانية = ١٦١/١٢ فتكون ث : قَ :: ج : $\frac{س^٢}{ط}$ اي

$$قَ = \frac{ث س^٢}{ط ج} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٣)$$

ولتكن ع عدد الدورات في ثانية فلنا س = ٢ م ط ع

و (٣) تصير $قَ = \frac{٤م^٢}{ج} \times ث \times ط \times ع^٢$ . . (٤)

## ١٠٨ اذا دار جسمان حول محور يمر بمركز ثقلهما المشترك فلا يكون ضغط على ذلك المحور

ليكن ا و ب (شكل ٤٩) جسمين متصلين بقضيب وليدار ا حول مركز الثقل س فبموجب (٤) قوة التباعد عن المركز للجسم ا هي $\frac{٤م^٢}{ج} \times ا \times ا س \times ع^٢$ وللجسم ب هي $\frac{٤م^٢}{ج} \times ب \times ب س \times ع^٢$ . ولما كان س مركز ثقل الجسمين يكون ا × ا س = ب × ب س فقوة التباعد عن المركز اذاً للجسم ا = التي للجسم ب

شكل ٤٩

فلا يكون ضغط على المركز س بزيادة قوة التباعد عن المركز لاحدهما على قوة الآخر

١٠٩ ان قوة التباعد لجسمٍ على الارض عند خط الاستواء تستخرج بحسب (١) ولكن قوة التباعد عن المركز لجسم في عرضٍ ما تساوي قوة التباعد عند خط الاستواء مضروبة في مربع نظير جيب العرض

ليكن ن ص (شكل ٥٠) محورًا وا جسمًا برسم محيطًا مع نصف القطر ا س . اجعل ط = س ت وطَ = ا ح ول = زاوية ا س ت العرض وق قوة التباعد عن المركز عند خط الاستواء وقَ قوة التباعد عند ا وس = سرعة ت وسَ = سرعة ا فلنا مما مر

$$ق = \frac{س^{2}}{ط} \quad وقَ = \frac{سَ^{2}}{طَ}$$

ولكن س : سَ :: ط : طَ فتكون $سَ = \frac{س طَ}{ط}$ . وكذلك من المثلث ا س ح لنا $طَ = ط \times تجـ\ ل$ فاذًا $سَ = س \times تجـ\ ل$ و $قَ = \frac{س^{2} \times تجـ^{2} ل}{ط \times تجـ\ ل} = \frac{س^{2}\ تجـ\ ل}{ط}$ . وبمقابلة قيمة قَ مع قيمة ق لنا $قَ = ق \times تجـ\ ل$ . ولكن لما كانت قوة التباعد عند ا تضادّ الجاذبية الى جهة ا ب والجسم انجذبهُ الارض الى جهة س تكون ا ب الى ا د مثل قوة التباعد عند ا الى مضادتها للجاذبية (رقم ١٠٢) اذًا ا د عبارة عن مضادتها لها اذا كانت ا ب عبارة عنها وب د عمودًا على ا د . ثمّ لما كانت زاوية د ا ب = ا س ت = ل فلنا

$$ا د = ا ب \times تجـ\ ل = قَ \times تجـ\ ل = ق\ تجـ^{2} ل$$

شكل ٥٠

١١٠ من العبارات السابقة يُستعلم انهُ يقتضي ان تصير سرعة الارض حول محورها ١٧ ضعفًا لكي تزول قوة الجاذبية عند خط الاستواء ولا يعود للمواد ثقلٌ هناك ونتطاير ان زادت سرعة الارض

لانهُ بموجب (٣) قَ — ث × س٢ / ط٢ × ح وقَ × ٢ ط × ج — ث × س٢ وبحسبما فرض قَ — ث فاذًا س٢ — ٢ ط × ح وس — ٣٢٨ ط × ج) — ٨(٨٠٠٠ × ٥٢٨٠ × ١٦) — ٢٥٩٩٦ قدمًا مقدار سرعة الارض التي تزيل الجاذبية ثم ان محيط الارض عند خط الاستواء — ٢٥٠٠٠ ميل دورتها في ٢٤ ساعة فتكون سرعتها من الاقدام في الثانية — ٢٥٠٠٠ × ٥٢٨٠ / ٢٤ × ٦ × ٦٠ — ١٥٨٣. ثم ٢٥٩٩٦ / ١٥٨٣ — ١٧ تقريبًا

١١١ يظهر من (رقم ١٠٩) ان قوة التباعد عن المركز للمواد على الارض التي تضاد جاذبيتها تختلف باختلاف العرض. فمعظمها عند خط الاستواء وهي هناك ١/١٧ من الجاذبية (رقم ١١٠) اي لو بطل دوان الارض على محورها لكان ١٧ رطلاً تصير ١٨ رطلاً هناك. وبالابتعاد عن خط الاستواء الى نحو احدى القطبتين تتناقص قوة التباعد عن المركز بتناقص دواير العرض اذ كانت الاجسام عند تلك الدواير تكمل دوراتها في وقت واحد حتى تصير لا شي عند القطبتين وتتغير كمربع نظير جيب العرض (رقم ١٠٩). فبناء عليهِ المظنون ان ذلك صار سببًا لكون الاجزاء القطبية اقرب الى مركز الارض من الاستوائية وكونها اقرب منها الى التسطيح كالمقرر في فن الجغرافية. لانهُ اول ما حركها الخالق جل شانهُ كانت مائعةً وكانت قوة التباعد عن المركز تقاوم جاذبية الارض اشدَّ مقاومة عند خط الاستواء ولم تكن لتقاوم عند القطبتين فانضغطت الاجزاء القطبية وتباعدت الاستوائية

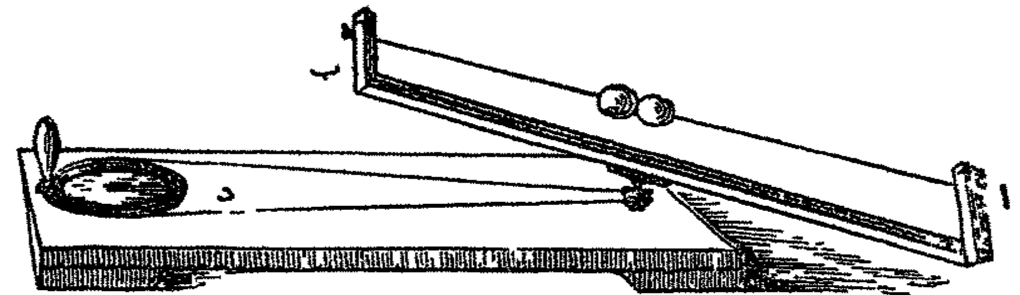
عن المركز حتى صار الفرق بين القطر الاستوائي والقطبي ٢٦ ميلاً . ومن خط الاستواء الى احدى القطبتين تتناقص مقاومة قوة التباعد عن المركز للجاذبية فيتناقص الضغط الى ان يصير لا شيء عند القطبة . وذلك يجعل هيئة الارض اهليلجية كان مجسمها مصنوع بدوران اهليلجي حول قطره الاقصر . ولكن لكون الفرق بين القطرين صغيرًا ولم تبعد هيئتها عن الكرة تعتبر غالبًا كرة تامة . وسياتي الكلام في الرقاص على طريقة معرفة الفرق بين القطر القطبي والاستوائي

شكل ٥١

ان التجربة الاتية توضح ما قد ذكر . فاذا ادبرت هذه الآلة ( شكل ٥١ ) بسرعةٍ يظهر جذب قوة التباعد عن المركز . وهذه الآلة فيها دائرتان من شريط او من سير معدني مرن تدوران حول محور فاذا اتصلت هذه الآلة بدولابين ملفوف عليهما خيط وحركت بسرعة فالدائرتان تتقاربان على خط المحور وتتباعدان عند خط الاستواء كما يرى في الشكل

ومما يوضح لنا قوة التباعد عن المركز جليًا هذه الآلة ( شكل ٥٢ ) .

شكل ٥٢




فان المسلكة ا ب موضوعة على محور مثبتة عليهِ ببرغي تدور عليهِ بواسطة الدولاب د . وكرتان مثقوبتان قد ادخلا في شريطة ا ب فاذا وضعتا عند

المركز كما ترى ( شكل ٥٢ ) وادبرت الالة بسرعة يتباعدان عن المركز ويصدمان طرفي المسلكة في لحظةٍ واحدة ان كانتا متساويتي الجرم. والكبرى تصدم قبل الصغرى ان كانتا مختلفتي المادة . وان اختلفتا في البعد عن المركز مع مساواتهما في المادة فالبعدى تصدم اولاً

ومما يظهر قوة التباعد عن المركز ان دولاب الجلخ احيانًا يتكسر اربًا لعظم سرعة دورانهِ وقس على ما ذكر ما لم يذكر

## مسائل منثورة

س١ حجر ثقلهُ اوقيتان ادير في مقلاع طولهُ ثلثة اقدام ٤ دورات في كل ثانية فما هي قوة التباعد فيهِ ج ٩٫٢٨ ق ٩ ط

س٢ ان كان طول مقلاع قدمين فكم دورة يقتضي ان يدور في الثانية حتى تحفظ قوة التباعد الحجر في المقلاع بدون سقوطهِ منهُ بالجاذبية ج ٢/٣ دورة في الثانية

س٣ عربانة وزنها ٧ قناطير تسير بسرعة ٣٠ ميل في الساعة على طريق حديد دارت في قوسٍ نصف قطرهِ ٢٠٠ قدم فكم تكون قوة الجذب عليها الى خلاف جهة مركز دائرتها ج ٥١٫١٢ ط ٢ قنطر

س٤ كم يقتضي ان تسرع الارض لكي لا يبقى ثقل للمواد على عرض بيروت اي ٣٣° و٣٠′

# الفصل السادس

## في الرقاص

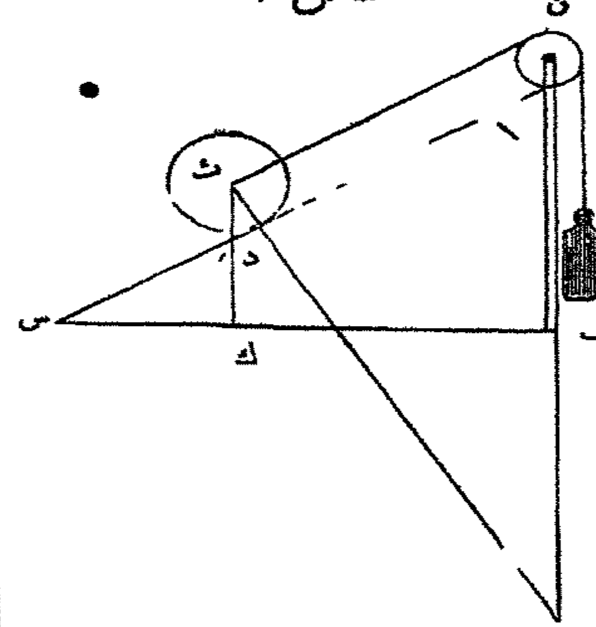
١١٣ الرقاص شريط من معدن معلق بمسمار داخل ساعة

دقاقة في طرفهِ الاسفل قرص معدني يخطر في قوس صغير حول نقطة التعليق لاجل تحريك عقرب الدقائق. وتسمى نقطة التعليق مركز الحركة. وفي ما ياتي يحسب الخطران في خلاءٍ بدون ان يفرك على مسمار. فلا ينظر الى صد الهواء او الفرك. ولاجل البحث عن نواميس حركة الرقاص نحتاج ان نلتفت اولاً الى حركة الاجسام على سطحٍ مائل

١١٢ السطح المائل هو سطح مستوٍ زاوية ميلهِ على سطح الافق اقل من قائمة. واذا وازنت قوة توازيهِ جسماً عليهِ تكون نسبة تلك القوة الى الجاذبية كنسبة علوهِ الى طولهِ. ووقت سقوط الجسم بالجاذبية في بينٍ مثل طولهِ يساوي وقت نزولهِ على السطح في بينٍ مثل علوهِ

ليكن اس سطحاً مائلاً علوهُ ا ب عمودي على قاعدتهِ س ب الموازية لسطح الافق وزاوية ميلهِ ا س ب وث ثقلاً يوازنهُ ق معلقاً بخيط ث ن ق المار على البكرة ن والموازي ا س. فالجسم ث ساكن بثلث قوات احداها ق على جهة د ا والثانية صد السطح على جهة ي ث العمودي من مركز ثقل الجسم ث على السطح المايل (رقم ١٠٢) في نقطة الماسة د والثالثة الجاذبية في جهة ث ك او اي العمودي على ب س فالمثلث ا ي د يدل على القوات الثلث ونسبة بعضها الى بعض بخطوطهِ بعضها الى بعض كما في الحركة المتساوية (رقم ٧٩) لانهُ في تركيب الحركة المتساوية يدل على ابيان ثلث قوات في

وقت واحد د ل عليها مثلث بثلثة مسطحات ( رقم ٦٢ ) وفي المسارعة بثلثة مثلثات اتصاف المسطحات في نفس الوقت ونسبة المسطحات بعضها الى بعض كالانصاف فوقت سقوط الجسم في ا ي بالجاذبية ووقت نزوله في ا د واحدٌ. فخط ا ي عبارة عن قوة الجاذبية وا د عبارة عن ق و د ي عبارة عن صد السطح ( رقم ٨٣ ). ولكنهُ لما كان مثلث ا ب س يشبه ا د ي تكون اضلاع ا ب س ايضًا عبارة عن القوات




الثلث اي ان البين ا س عبارة عن الجاذبية وا ب عبارة عن القوة ق و س د عبارة عن صد السطح واوقات سير الجسم بكل من بهذه القوات في مثل بينها من مثلث ا س ب متساوية . ثمَّ اذا انقطع الخيط ن ث يسير الجسم منهويًا على السطح ا س بالقوة ق ولما كان البين يتغير كالقوة كما قررنا وبموجب ( رقم ٧٦ ) فاذا فرضنا د البين الذي يسير فيهِ الجسم بالقوة ق في الثانية الاولى وج = البين للجاذبية في الثانية الاولى اي ١٦/١٢ وع = علو السطح المائل وط = طولهُ

يكون د : ج :: ع : ط

اذًا $د = \frac{ع}{ط} \times ج$

فالقوة التي تحرِّك الجسم في سطح مائل هي كسر من الجاذبية صورتهُ علو السطح المائل ومخرجهُ طولهُ ولا ريب ان هذه القوة متصلة على اي سطح مائل فرض وتحدِث حركة متسارعة . فالحركة على سطح مائل لا تختلف

بالنوع عن حركة السقوط بالجاذبية بل بالكمية . فالعبارات الست المذكورة (رقم ٧٥) تصلح للسطح المائل غير انهُ يقتضي التعويض بقيمة الحرف د عن ج وهنا ندوّن العبارات المشار اليها وحذاءها عبارات السطح المائل

| | عبارات السقوط | عبارات السطح المائل . |
|---|---|---|
| (١) | $و = \sqrt{\frac{ب}{ج}}$ | $و = \sqrt{\frac{ب ط}{ج ع}}$ |
| (٢) | $س = ٢ \sqrt{ج ب}$ | $س = ٢ \sqrt{\frac{ب ع ج}{ط}}$ |
| (٣) | $و = \frac{س}{٢ج}$ | $و = \frac{س ط}{٢ ع ج}$ |
| (٤) | $ب = ج و^{٢}$ | $ب = \frac{ج ع و^{٢}}{ط}$ |
| (٥) | $ب = \frac{س^{٢}}{٤ج}$ | $ب = \frac{س^{٢} ط}{٤ ج ع}$ |
| (٦) | $س = ٢ ج و$ | $س = \frac{٢ ج ع و}{ط}$ |

من العبارة (٤) يظهر ان $ب \propto و^{٢}$ ومن (٥) ان $ب \propto س^{٢}$ اذا كانت ج او ٤ ج كمية ثابتة . فينتج ان ابيان النزول في اوقاتٍ متساوية متوالية هي كالاعداد الأوائل ١ و ٣ و ٥ الخ وابيان الصعود كهذه الاعداد مقلوبةً . وايضًا ان السرعة اخيرًا ان بقي الجسم متحركًا بها على التساوي يسير مضاعف ما كان يقتضي ان ينزل لكي يحصل تلك السرعة . وانهُ اذا رُمي او دحرج جسمٌ الى فوق على سطح مائل يصعد الى بعد يقتضي ان ينزل منهُ لكي تحصل سرعة الرمي

## ١١٤ السرعة اخيرًا بالنزول على سطح مائل تعدل الحاصلة اخيرًا بالسقوط في علوه

لان ب = ط هنا فبموجب العبارة (٢) $س = ٢ \sqrt{\frac{ب ع ج}{ط}} = ٢ \sqrt{(ع ج)}$ وهي عبارة السرعة للسقوط بالجاذبية في ع علو السطح . فعلى سطوحٍ مختلفة اذن $س \propto \sqrt{ع}$

**١١٥ وقت الانحدار على سطح مائل الى وقت السقوط بالجاذبية في علوه كالطول الى العلو**

لانهُ بموجب العبارة (١) $\text{و} = \sqrt{\frac{\text{سط}}{\text{حع}}} = \text{ط}\sqrt{\frac{1}{\text{حع}}}$ ولكن وقت السقوط في العلو $= \sqrt{\frac{\text{ع}}{\text{ح}}}$ . اذاً

وقت النزول على سطح مائل : وقت السقوط في العلو :: $\text{ط}\sqrt{\frac{1}{\text{عح}}} : \sqrt{\frac{\text{ع}}{\text{ح}}}$ :: $\text{ط}\sqrt{\frac{1}{\text{ح}}} : \text{ع}\sqrt{\frac{1}{\text{ح}}}$ :: ط : ع

ثم لما كان $\text{و} = \text{ط}\sqrt{\frac{1}{\text{حع}}}$ فعلى سطوح مختلفة $\text{و} \propto \frac{\text{ط}}{\sqrt{\text{ع}}}$

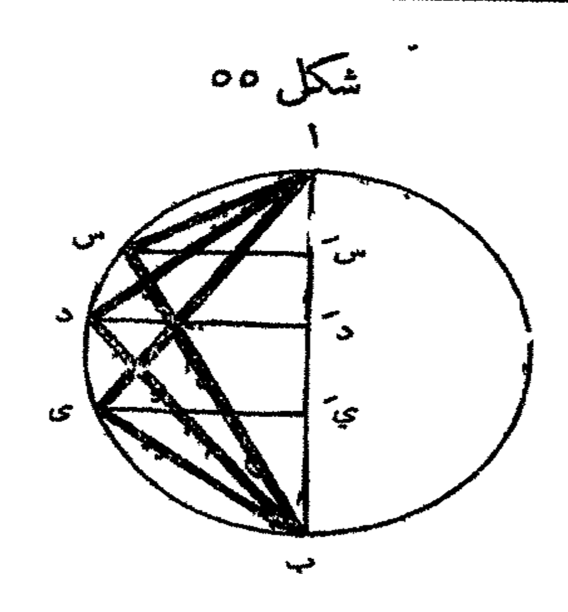
فينتج انهُ ان كان لعدة سطوح علو واحد فالسرعات بالنزول فيها متساوية واوقات النزول كاطوال السطوح

شكل ٥٤

لنفرض ان ا س و ا د و ا ي (شكل ٥٤ ) لها علو واحد ا ب . ثم اذ كانت $\text{س} \propto \text{ع}^{1/2}$ وع كمية مشتركة تكون س واحدةً لجميع السطوح المذكورة . ولما كان $\text{و} \propto \frac{\text{ط}}{\sqrt{\text{ع}}}$ وع كمية مشتركة بين السطوح فان $\text{و} \propto \text{ط}$

**١١٦ انهُ في النزول على اوتار دائرةٍ تنتهي في طرفي قطرها المتسامت السرعات اخيراً كالاطوال واوقات النزول في الاوتار والسقوط في القطر تساوي بعضها بعضاً**

لان السرعة الاخيرة (رقم ١١٤ ) على ا س ( شكل ٥٥ ) $= \sqrt{2(\text{اسَ} \times \text{ج})} = \sqrt{2(\frac{\text{اس}^2}{\text{اب}} \times \text{ج})} = \text{اس}\sqrt{\frac{2\text{ح}}{\text{اب}}}$ . ولما كانت $\sqrt{\frac{\text{ح}}{\text{اب}}}$ كمية ثابتة فالسرعة الاخيرة على ا س تتغير مثل ا س الطول . ثم بموجب ( رقم ١١٥ )




شكل ٥٥

وقت النزول في ا س $= ٢\sqrt{\frac{\text{اس}^٢}{\text{ج} \times \text{اسَ}}}$ $= ٢\sqrt{\frac{\text{اب} \times \text{اسَ}}{\text{ج} \times \text{اسَ}}} = ٢\sqrt{\frac{\text{اب}}{\text{ج}}}$ = وقت السقوط في ا ب القطر وهكذا يقال في وقت النزول في ا د او ا ى . او لأن ا س و ا ب حينئذٍ عبارة عن بيني النزول في السطح المائل والسقوط في ا ب يكون وقت ا س = وقت ا ب (رقم ١١٣) وهكذا يقال ان وقت ا د او وقت ا ى = وقت ا ب فجميع اوقات النزول با لاوتار تساوي بعضها بعضًا وتساوي وقت السقوط في القطر

## ١١٧ السرعة الاخيرة في النزول على سلسلة سطوح مائلة تساوي السرعة الاخيرة من السقوط في علوها العمودي ان لم تكن خسارة بالانتقال من سطح الى اخر

لانهُ بموجب (شكل ٥٦) السرعة عند ب هي واحدة سواءٌ انزل الجسم في ا ب ام ى ب اذ كان علوهما واحد ف بَ . فان انتقل الجسم الى السطح ب س با لسرعة الاخيرة فلا فرق بين النزول على ا ب و ب س وبين النزول على ى س لانهُ في كلا الحالين

شكل ٥٦

ف ى ا
بَ ب
سَ س
غ د

السرعة عند س تساوي السرعة الاخيرة با لسقوط في ف سَ . ومثل ذلك اذا انتقل الجسم من ب س الى س د بدون خسارةٍ في السرعة فا لسرعة

عند د واحدة سواءكانت من النزول على ا ب و ب س و س د ام على ف د
لانها في كليهما تساوي السرعة الاخيرة بالسقوط في ف غ

١١٨ ان الحكم المذكور في الرقم السابق لا يصدق تمامًا على سلسلة سطوح ولكن يصدق على سطح منحنٍ. لان الجسم بالانتقال من سطح الى اخر يخسر شيئًا من سرعتهِ ونسبة الخسارة الى كل السرعة السابقة كسهم جيب الزاوية بين السطحين الى نصف القطر

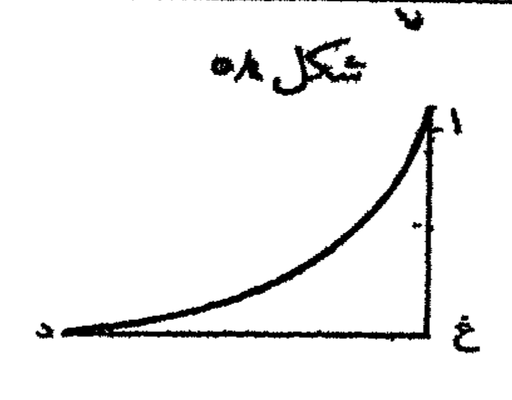
شكل ٥٧



لتكن ب ف عبارة عن السرعة التي كانت للجسم عند ب (شكل ٥٧) حلها الى ب د على السطح التالي و د ف عموديًّا عليهِ. فان ب د هي السرعة الابتدائية على ب س وان كان ب ح = ب ف تكون د ح الخسارة. وانما د ح هي سهم جيب زاوية ف ب د لنصف القطر ب ف. فتكون نسبة الخسارة : السرعة عند ب :: د ح : ب ف :: سجب : $\frac{ق}{٢}$

وانما لا خسارة على سطحٍ منحنٍ. لانهُ ان فرض عدد السطوح المتوالية غير متناهٍ يصير منحنيًا (شكل ٥٨). ولما كانت الزاوية بين سطحين متواليين من المنحني غير متناهية في صغرها فوترها صغير الى غير نهاية. ولكن سهم جيبها اصغر من الصغير الى غير نهاية ايضًا لان القطر : الوتر :: الوتر : سجـ فيكون سهم الجيب لكلٍّ من الزوايا الصغيرة الى غير نهاية في المنحني صفرًا ولذلك ولئن يكن مجموع جميع الزوايا الصغيرة الى غير نهاية الزاوية المتناهية ا غ د تكون كل الخسارة مجموع اصفار. فاذًا الجسم لا يخسر سرعةً على منحنٍ بل

يحصل عند لسفله نفس السرعة التي يحصلها بسقوطه في علوه . فيظهر ان سرعة الجسم الاخيرة هي واحدة سواء نزل على خط متسامت ام على سطح مائل ام على منحن ان كان العلو واحدًا




## ١١٩ ان اوقات النزول على سلاسل سطوح متشابهة ومنحنيات متشابهة كالاجذار المالية لاطوالها

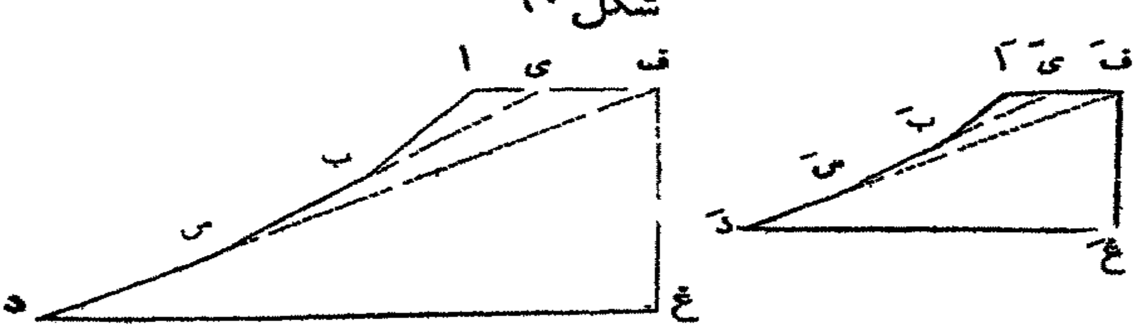
ان كان لسطوح ميلٌ واحد على سطح الافق فاوقات النزول عليها كجذور اطوالها . لانهُ ان رسم علو وقاعدة كل سطح يصطنع مثلثات متشابهة وع : ط تناسب ثابت للسطوح المتعددة وبحسب (رقم ١١٥)

و $\propto \sqrt{ع}$ $\propto \frac{ط}{\sqrt{ط}}$ $\propto \sqrt{ط}$ اي ان الوقت يتغير كالجذر المالي للطول

ثم ان كانت سلسلتا سطوح متشابهتين بان كانت السطوح المتناظرة منهما متناسبة ولها ميل واحد على سطح الافق يصدق ايضًا الحكم المذكور وهو ان اوقات النزول عليها كجذور المالية لاطوالها

ليكن ا ب س د وَ اَ بَ سَ دَ (شكل ٦٠) متشابهين وليرسم ا ف

شكل ٦٠




وَ اَ فَ افقيين وتخرج السطوح السفلى لتلاقيها فيبرهن على الفور ان كل الاضلاع المتناظرة من الشكلين متناسبة واجذارها المالية ايضًا متشابهة. لتقرا

و ا ب وقت النزول في آ ب وهلم جرًّا فلنا

و ا ب : و آ بَ :: √ا ب : √آ بَ

و ى ب : و يَ بَ :: √ى ب : √يَ بَ :: √ا ب : √آ بَ

و و ى س : و يَ سَ :: √ى س : √يَ سَ :: √ا ب : √آ بَ

فاذن بالطرح و ب س : و بَ سَ :: √ا ب : √آ بَ

وعلى هذا الاسلوب و س د : و سَ دَ :: √ا ب : √آ بَ

اذًا بالجمع و ( ا ب + ب س + س د ) : و ( آ بَ + بَ سَ + سَ دَ ) ::

√ا ب : √آ بَ :: √( ا ب + ب س + س د ) : √( آ بَ + بَ سَ + س د )

ومع ان في الانتقال من سطح الى اخر خسارةً فلا تزال القضية صحيحة لانهُ اذ كانت الزوايا متساوية فالخسائر متناسبة الى السرعات الاخيرة ولذلك السرعات الابتدائية على السطوح التالية تبقى على النسبة نفسها التي كانت لها قبل الخسائر فتناسب الاوقات لا يتغير

ان البرهان المذكور يصدق فيما اذا كان عدد السطوح في كل سلسلة يزداد الى غير نهاية حتى تصير مخنيات متشابهة وميلها على سطح الافق متشابه. فاذا فرضنا ان هذه المخنيات اقواس دوائر فلكونها متشابهة هي متناسبة لانصاف اقطارها . فاوقات النزول على اقواس متشابهة كالاجذار المالية لانصاف اقطار تلك الاقواس

## مسائل على السطح المائل

س١ كم من الوقت يقتضي لجسم ان ينزل ١٠٠ قدم على سطح طولهُ ١٥٠ قدمًا وعلوهُ ٦٠ قدمًا ج ٣٫٢٩ ثانية

س٢ طريق حديد لها سطح مائل طولهُ ٣½ ميل وميلهُ ١ في ٣٥ فاي سرعة لعربابة بالنزول على كل طول الطريق بثقلها فقط

ج ١٠٦٫٢٣ ميل في الساعة

س٣ جسم يزن ٥ ارطال سقط على خط متسامت وجرّ اخر وزنهُ ٦ ارطال على سطح ميلهِ ٤٥° فكم ينزل الجسم الاول في ١٠ ثوانٍ

ج ٢٢٤٤ قدم

س٤ يوجد على جانب جبال البا في سويسرا مزلق يُرمى عليهِ اخشاب من الجبال فتنحدر الى بحيرة عند سفح الجبل ومن ثم تحدر في نهر راين. طول المزلق ثمانية اميال وعلوهُ ٢٦٦٢ر١ قدمًا ففي اي وقت تهبط شجرة من اعلاهُ الى سفحهِ بدون التفات الى الفرك ج ٥٧ ثانية ٤ دقائق

١٢٠ اذا رُفع الرقاص الى جانب واحد من موقع سكونهِ الى علوٍ ما وأُفلت ينزل وبالزخم الاخير الذي يحصلهُ عند وصولهِ الى موقع سكونهِ يصعد على الجانب المتقابل الى ذلك العلو نفسهِ حيث تنزلهُ الجاذبية كما انزلتهُ قبل. ولولا مانع صد الهواء لدام خطرانهُ

الخطرة المفردة لرقاص هي حركتهُ من النقطة العليا على جانب واحد الى النقطة العليا على الجانب الاخر. والخطرة المزدوجة هي تحركهُ من النقطة العليا على الجانب الواحد الى ان يرجع اليها

محور الرقاص خطٌ مرسوم في مركز ثقلهِ عموديًا على محورهِ الافقي الذي يدور هو عليهِ

مركز خطران رقاص هو تلك النقطة من محورهِ التي لو

جُمِّعت عندها كل مادتهِ لا يتغير وقت خطرة من خطراتهِ

طول رقاص هو ذلك الجزء من محورهِ بين نقطة التعليق ومركز الخطران

جميع كُتَل الرقاص توهم في نقطة محورهِ. فالتي فوق مركز الخطران من شانها ان تخطر اسرع (رقم ١١٩) فتزيد سرعتهُ والتي تحتهُ من شانها ان تخطر ابطا فتقلِّل سرعتهُ. ولكن حسب حد مركز الخطران المذكور هذا التسارع وذلك التباطي يوازن احدهما الاخر عند تلك النقطة

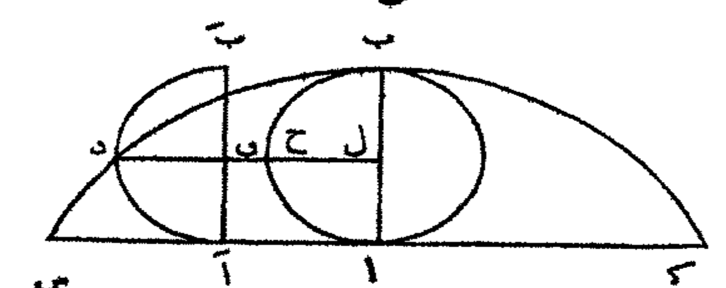
١٢١ انهُ لما كان قوس خطرة مفردة لرقاص يتغير كطولهِ بمقتضى خصائص الدائرة وبموجب (رقم ١١٩) يتغير الوقت كجذر بين القوس فوقت خطرة مفردة يتغير كجذر طول الرقاص. ويستعلم طول رقاص وهو البعد بين نقطة التعليق ومركز الخطران اذا فرض وقت خطرةٍ مفردة او يستعلم وقتها اذا فرض طولهُ بهذه النسبة وهي

وقت خطرة مفردة: وقت السقوط في نصف طول الرقاص :: ٣٫١٤١٥٩ : ١ . اما برهان هذه النسبة فيقتضى ان نبحث عن خصائص شكل هندسي يقال لهُ الكِيكلويد

١٢١ الكيكلويد خطٌ منحنٍ ترسمهُ نقطةٌ في محيط دائرة تدار على خطٍ مستقيم والخط المستقيم الذي تدار عليهِ الدائرة يلاقي منحني الكيكلويد في طرفيهِ

لتدار الدائرة ا ح ب دورة واحدة على الخط س ا ك الذي بالضرورة يساوي محيطها فالخط المنحني س د ب ك المرسوم لتلك النقطة من الدائرة التي كانت مماسة للنقطة س حينما ابتدات ان تدور الدائرة يعرف

شكل ٦٠




بالكيكلويد . واذا تنصف الخط س ك في ا ورُسم ا ب عمودًا عليهِ فواضحٌ من كيفية رسم المنحني انهُ يكون لهُ جزءان متشابهان على جانبي ا ب وان نقطة السمت ب توضع بحيث محور الكيكلويد ا ب يساوي قطر الدائرة التي رسمتهُ . اما خصائص المنحني المذكور التي يتوقف عليها برهان النسبة المذكورة (رقم ١٢١) فهي ما ياتي

١٢٣ معين الكيكلويد د ح يساوي قوس الدائرة ب ح . لانهُ اذا فرض بَ د اَ (شكل ٦٠) موقع الدائرة اذ تكون النقطة الراسمة المنحني عند د . ارسم القطر بَ اَ يوازي ب ا ومن د ارسم د ح ل يوازي س ا فالقوس د اَ = القوس ح ا فالجيبان د ق ح ل متساويان فاذًا د ح = ق ل = اَ ا = س ا — س اَ = نصف المحيط ب ح ا — القوس ح ا = القوس ب ح

١٢٤ مماس الكيكلويد عند اي نقطةٍ مثل ي (شكل ٦١) يوازي الوتر الذي يقابلهُ ب ك من الدائرة الراسمة . ارسم د ح ل قريبة الى غير نهاية الى ى كم . ارسم ب ك واخرجهُ الى كً فالمثلث ح ك كً يشابهُ المثلث ك ر ب الذي ضلعاهُ المماسان ك ر ب ر اللذان يمسان الدائرة عند النقطتين ك و ب

شكل ٦١



متساويان فاذاً ك ح = ح كَ. ثم بموجب (رقم ١٣٤) القوس ب ك ح = د ح اطرح من هذه المعادلة التي قبلها فقوس ب ك = د كَ. ولكن القوس ب ك = ي ك فاذاً ي ك = د كَ. ولما كان ي ك و د كَ متساويين ومتوازيين فخطا ي د و ك كَ لابد ان يكونا متساويين ومتوازيين ايضاً. ولما كان الماس عند النقطة ي يجوز ان يحسب مطابقاً لوتر الجزء ي د من الكيكلويد المطابق الخط المنحني لانهُ قد فرض كون هذا الجزء صغيراً الى غير نهاية فهو متوازٍ للوتر ب ك

فينتج من ذلك ان الكيكلويد يلاقي القاعدة قائماً عليها لان الماس عند س يوازي ب ا المحور

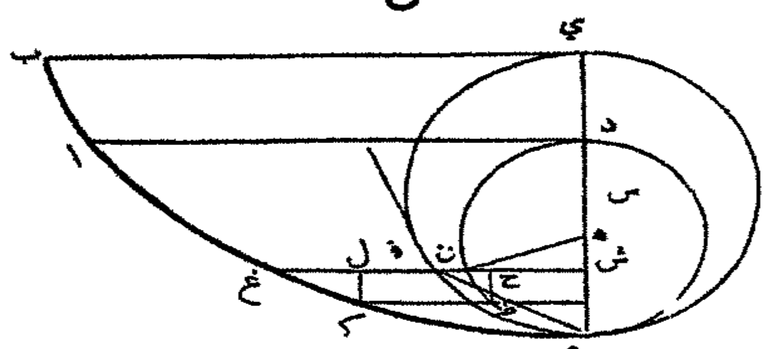
١٣٥ ان قوس الكيكلويد ب ي يساوي مضاعف الوتر المقابل ب ك من الدائرة الراسمة (شكل ٦١)

ارسم ح ه عموديا على ك كَ ولما كان المثلث ك ح كَ متساوي الساقين فخط ح ه ينصف القاعدة ك كَ فاذاً ك كَ او ى د = ٢ ك ه. ولما كان ح ه يسوغ ان يحسب كقوس دائرة صغير برسمهِ نصف القطر ب ح فخط ك ه = ب ه - ب ك = ب ح - ب ك. فاذاً ي د و ك ه هما كميتان يتالف من تكرارها قوس الكيكلويد ب ى والوتر ب ك ومن حيث ان القوس والوتر يبتديان معاً من النقطة ب وكل جزء صغير من الاول مضاعف الجزء الذي يقابلهُ من الثاني يلزم ان يكون القوس ب ى مضاعف الوتر ب ك وبالنتيجة كل القوس ب س = مضاعف القطر ا ب وطول كل المنحني س ب ك (شكل ٦٠) = ٤ ا ب . ولما كان س ا ك = ٣٫١٤١٥٩ × ا ب فكل الكيكلويد : قاعدتهِ :: ٤ : ٣٫١٤١٥٩

١٣٥ ان وقت النزول على الكيكلويد الى النقطة السفلى منهُ هو واحد ابدًا اذا ابتدأ الجسم ان يسقط من اي نقطةٍ كانت. ووقت النزول في نصف كيكلويد : وقت النزول في قطر الدائرة الراسمة لهُ :: نصف محيط الدائرة : قطرها

لتكن ى ف م (شكل ٦٢) دائرةً قطرها ى م عامودي على سطح

شكل ٦٢




الافق و ب غ م نصف الكيكلويد المتقابل. وليبتدِ الجسم ان يسقط من اي نقطةٍ كانت مثل ا . ارسم ا د يوازي ب ى وعلى م د كقطرٍ ارسم الدائرة د ن ط م مركزها عند ه

احسب ت = د م و ر = س ى نصف قطر الدائرة الكبرى و ص = د ش ولنفرض السرعة عند غ = س ولان القوس غ ك صغيرٌ جدًّا تحسب السرعة عند غ مثل التي عند ك . ثم وقت النزول في القوس غ ك يكون

$$\frac{غ ك}{س} = \frac{غ ك}{\sqrt{٢ ح (ص)}}$$

وبمشابهة المثلثات $\frac{غ ك}{ك ل} = \frac{ف م}{م ش} = \frac{\sqrt{م ش \times م ي}}{م ش} = \sqrt{\frac{م ي}{م ش}}$ (١)

و $\frac{ن ط}{ط ح} = \frac{ه ن}{\sqrt{م ش \times د ش}}$ (٢)

ثم ك ل = ط ح فبقسمة (١) على (٢) تصير

$$\frac{غ ك}{ن ط} = \frac{\sqrt{م ي \times د ش}}{ه ن} = \frac{٢\sqrt{٢ (ر - ص)}}{ت}$$ فاذًا

$$غ ك = \frac{٢}{ت} \times \sqrt{٢ (ر - ص)} \times ن ط$$

وقت النزول في غ ك $= \frac{٢}{ت} \frac{\sqrt{٢ (ر - ص)} \times ن ط}{\sqrt{٢ ح (ص)}} = \frac{٢}{ت} \sqrt{\frac{ر}{٢ح}} \times ن ط$

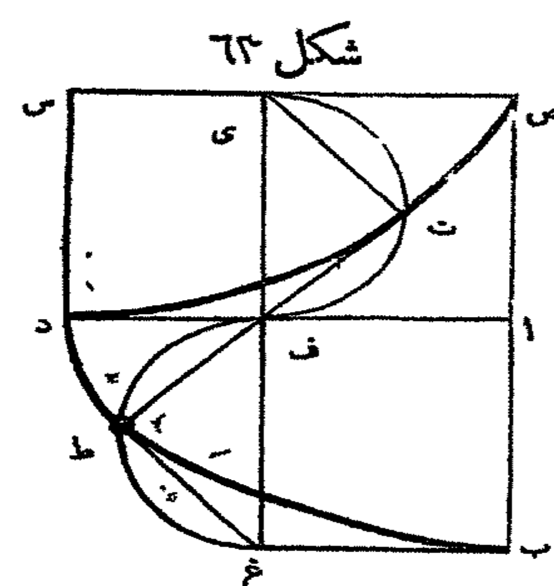
وعلى هذا الاسلوب يبين ان وقت التنزول في اي قوس آخر صغير احد الاجزاء التي يتالف منها المنحني هو $\frac{٢}{ت}\sqrt{\frac{ت}{٢ج}}$ مضروبًا في القوس المتقابل من المحيط د ن ط م. فينتج ان وقت التنزول في قوس الكيكلويد ام هو $\frac{٢}{ت}\sqrt{\frac{ت}{ج}} \times$ القوس د ن ط م $= \frac{٢}{ت}\sqrt{\frac{ت}{٢ج}} \times \frac{٣٫١٤١٥٩ \times ت}{٢} = ٣٫١٤١٥٩ \times \sqrt{\frac{ت}{ج}}$

ولما كانت هذه العبارة لوقت التنزول في ام مستقلة عن ت يتضح جليًا ان وقت التنزول على كيكلويد الى النقطة السفلى هو واحد ابدًا اذا سقط الجسم من اي نقطةٍ كانت

وبما ان وقت السقوط في ى م هو $\sqrt{\frac{٢ح}{ج}} = \sqrt{\frac{٢ت}{ج}} = ٢\sqrt{\frac{ت}{ج}}$ فاذًا وقت التنزول في ام : وقت السقوط في ى م :: $٣٫١٤١٥٩\sqrt{\frac{ت}{ج}} : ٢\sqrt{\frac{ت}{ج}}$ :: ٣٫١٤١٥٩ : ٢ :: نصف المحيط : القطر

١٣٧ اذا نُشِر مماس نصف كيكلويد ملتف عليهِ كخيطٍ ورَسم طرف المماس منحنيًا فذلك المنحني مثل نصف الكيكلويد هيئةً ومقدارًا

شكل ٦٣

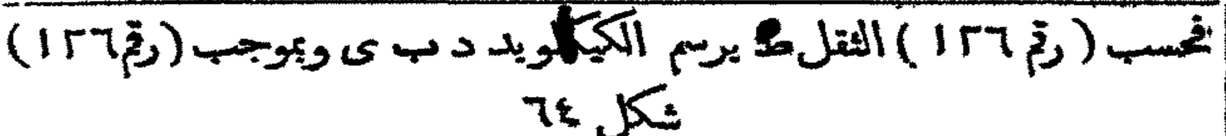



خذ خطًّا مثل ص س (شكل ٦٣) وارسم ص ا عمودًا عليهِ واجعل ص س : ص ا :: نصف محيط دائرةٍ : قطرها وكمل المتوازي الاضلاع ص س د ا. واخرج ص ا الى ب جاعلًا ا ب = ص ا. وعلى ص س وا د ارسم نصفي كيكلويد ص د و د ب بسمت الاول عند د والاخر عند ب. ثم ان كان المماس ينشر مبتدئًا عند د حتى تصل نقطة المماسة الى ص فطرفهُ يكون

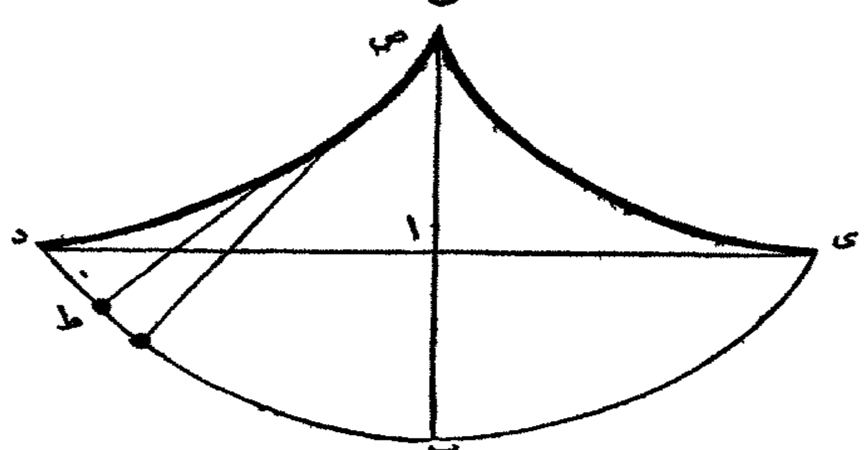
ايدًا في نصف الكيكلويد د ب لانهُ في اي نقطة مثل ف في ا د ارسم ى ف غ عموديا على ص س . ثم ى غ = ص ب وعلى ى ف وف غ ارسم نصفي الدائرتين ى ت ف ف ط غ وارسم الوترين ت ف ف ط فاولهما (رقم ١٣٣) مماسّ الكيكلويد عند ت . ثم ص ى = القوس ى ت وص س = ى ت ف فاذً س ي = د ف = القوس ت ف . ولكن د ف = ف ط فاذً القوسان ف ت وف ط متساويتان والزاويتان المتقابلتان كذلك ت ي ف ف غ ط . واذ كانت زاويتات وط قائمتين ي ف ت = ط ف غ وط ف ت خطٌ مستقيمٌ . ثم ان ت ط = ٢ ت ف = (رقم ١٣٥) قوس الكيكلويد ت د . فيكون ت ط مماسًا منشورًا من د وط طرفهُ . وهكذا يبرهن ان اي نقطةٍ غير ط من نصف الكيكلويد د ب هي طرف مماس منشور من د عن نصف الكيكلويد ص د فالماس المذكور يرسم نصف الكيكلويد د ب . فاذا نزل ثقلٌ معلق بخيط ملتفٍّ على ص د ورَسَم د ب يكون نزولهُ من د الى ب مثل تدحرجهِ على سطح د ب غير معلق لانهُ واضحٌ ان شد الثقل في الخيط معلقًا بهِ بنزولهِ في ب د مثل ضغطهِ على السطح ب د بنزولهِ غير معلق. وهكذا يقال في نزول الرقاص في نصف قوس خطرتهِ

١٣٨ قد يصطنع الرقاص احيانًا حتى يخطر في كيكلويد بتعليق ثقل في طرف خيط اين معلق بمسمار عند ملتقى نصفي كيكلويد طولهُ طول احد النصفين . فيكون وقت خطرةٍ مفردة: وقت السقوط في نصف طول الرقاص :: ٣٫١٤١٥٩ : ١

ليعلق الخيط ص ب في مركز الحركة ص حيث يلتقي نصفا الكيكلويد ص د وص ى . وليكن طول الخيط ص ب = طول ص د او ص ى


بحسب ( رقم ١٣٦ ) الثقل ط برسم الكيكلويد د ب ى وبموجب (رقم ١٣٦ )

شكل ٦٤




وقت النزول في ط ب من اى نقطةٍ كانت مثل ط : وقت النزول في ا ب :: نصف المحيط : القطر وبتضعيف السابقين تكون النسبة هكذا

وقت النزول في خطرة مفردة : وقت السقوط في نصف طول الرقاص :: ٣،١٤١٥٩ : ١

١٢٩ لما كانت النسبة المذكورة في اخر الرقم السابق تصح ابدًا لاي نقطةٍ ابتدئ بالنزول منها فكل خطرات رقاص الكيكلويد تتم في اوقات متساوية مهما كان طول كل خطرة . ولكن ذلك لا يصح في منحنٍ اخر خلاف الكيكلويد . غير ان قوسًا صغيرًا جدًا من كيكلويد عند النقطة السفلى ب واضح انهُ يطابق قوس دائرة مركزها عند ص . فاذا خطر رقاص في اقواس صغيرة جدًا يصح ما قيل با لتجربة . وهوانهُ في رقاص دائرة اقواس غير متساوية ايضًا يمر فيها الرقاص في اوقات متساوية . وان وقت خطرةٍ الى وقت السقوط في نصف طول الرقاص كنسبة ٣،١٤١٥٩ : ١ . ولهذا السبب رقاص ساعة فلكية يعلق بمركز الحركة منها حتى يخطر في اقواس صغيرة

١٣٠ لاجل وضع قواعد لمعرفة طول الرقاص ووقت

## خطرةٍ مفردة منهُ وقوة الجاذبية

افرض و = وقت خطرة رقاص و ط طولهُ اي البعد من مركز الحركة الى مركز الخطران فوقت السقوط في نصف طولهِ = $\sqrt{\left(\frac{ط}{ج}\right)} = \sqrt{\left(\frac{ط}{٢ج}\right)}$ وافرض م = ٣٫١٤١٥٩ وج = ١٦ ١/١٢ فتكون النسبة هكذا

$$و : \sqrt{\left(\frac{ط}{٢ج}\right)} :: م : ١ \quad او \quad و = \sqrt{\left(\frac{م^٢ ط}{٢ج}\right)} \qquad ط = \frac{٢ج و^٢}{م^٢}$$

فاذا عرف طول الرقاص يستعلم وقت خطرة واحدة . ومن الجهة الاخرى اذا فرض وقت خطرة يستعلم منهُ طول الرقاص

وينتج لنا من العبارة ايضاً ان $و \propto \sqrt{ط}$ او لنا هذه القاعدة

### الوقت الذي فيهِ يخطر رقاصٌ خطرةً يتغير كالجذر المالي من الطول . وذلك يطابق ما تقرر (رقم ١١٩)

وكما ان $و \propto \sqrt{ط}$ كذلك $ط \propto و^٢$ . فاذاً ان كان طول رقاص يخطر ثواني يساوي ط فرقاص يخطر مرة في ثانيتين يساوي ٤ ط واخر يخطر انصاف ثوانٍ يساوي $\frac{ط}{٤}$ وقس عليهِ

ثم اذا فرض طول رقاص يخطر في وقت مفروض تستعلم قوة الجاذبية ج . لانهُ اذا كان $ط = \frac{٢ج و^٢}{م^٢}$ تكون $ج = \frac{م^٢ ط}{٢و^٢}$ . وان تغيرت ج كما تتغير في اعراض مختلفة واعالي مختلفة تكون $ط = \frac{٢ج و^٢}{م^٢} \propto ج و^٢$ . وان كان الوقت كثانية مثلاً ثابتاً فان $ط \propto ج$ فلنا هذه القاعدة

### طول رقاص يخطر ثواني يتغير كقوة الجاذبية او الجاذبية تتغير كطول رقاص

ايضاً $و \propto \sqrt{\frac{ط}{ج}}$ اي وقت خطرة يتغير بالاستقامة كالجذر المالي من

الطول وبا لقلب كالجذر المالي من الجاذبية . وذلك يطابق ما قيل (رقم ٧٧) .

لما كان عدد الخطرات ع في وقت مفروض يتغير با لقلب كوقت خطرة واحدة فاذاً $ع \propto \sqrt{\frac{ج}{ط}}$ او $ع \propto \sqrt{ط}$ با لقلب و $ج \propto ط ع^{2}$ . فاذا كان الوقت وطول رقاص مفروضين فلنا هذه القاعدة

## قوة الجاذبية تتغير كمربع عدد الخطرات

١٣١ لما كانت الجاذبية تتغير كطول رقاص او كمربع عدد خطراتهِ كما تقرر في الرقم السابق وبموجب (رقم ٣١) تتغير با لقلب كمربع البعد عن مركز الارض فطول رقاص مع بقاء الوقت لخطرةٍ مفردة او مربع عدد الخطرات مع بقاء الطول كلٌّ منها يتغير با لقلب كمربع البعد عن مركز الارض . فمن هذه النسبة نتوصل الى معرفة علو مكان عن سطح الارض او نصف قطر الارض غير الاستوائي كالذي عند القطبة لانهُ يقصر عن الاستوائي بالابتعاد عن خط الاستواء الى نحو احدى القطبتين الى ان يصير الاقصر هناك

لنفرض ك — علو جبل و ر — نصف قطر الارض و ج — القوة على سطح الارض و و — وقت خطرةٍ مفردة لرقاص هناك و جَ — القوة على الجبل و وَ — وقت خطرةٍ لهُ هناك و خ — عدة الخطرات على سطح الارض في ساعةٍ و خَ — عدة الخطرات التي يخسرها الرقاص في ساعة على راس الجبل

فتكون خ − خَ = عدة الخطرات على راس الجبل فلنا

$(\text{ر} + \text{ك})^{٢} : \text{ر}^{٢} :: \text{خ}^{٢} : (\text{خ} - \text{خَ})^{٢}$ او

$\text{ر} + \text{ك} : \text{ر} :: \text{خ} : \text{خ} - \text{خَ}$ وبالطرح

$\text{ك} : \text{ر} :: \text{خَ} : \text{خ} - \text{خَ}$ او

$\text{ك} = \frac{\text{ر خَ}}{\text{خ} - \text{خَ}}$

ولما كانت خَ كمية صغيرة جدًّا بالنظر الى خ لا يحصل خطا يعبا بهِ بحذفها من العبارة الاخيرة فتصير

$\text{ك} = \frac{\text{ر خَ}}{\text{خ}}$

فلنا هذه القاعدة وهي . لكي تعرف علو مكان من اختلاف عدد خطرات رقاص اضرب نصف قطر الارض في خسارة عدد الخطرات في وقت مفروض كساعةٍ واقسم الحاصل على خطرات الوقت المفروض

فاذا فرضنا رقاصًا يخطر ثواني خسر بنقلهِ الى راس جبل ثانيةً واحدة في الساعة تكون عبارة علوهِ ك $= \frac{٤٠٠٠ \times ١}{٣٦} = ١١١\frac{١}{٩}$ ميل . واذا فرضت خسارتهُ ٢ʺ يكون علو الجبل $٢٢٢\frac{٢}{٩}$ او ٣ʺ فعلوهُ $٣٣٣\frac{٣}{٩}$ الخ

ثم لنفرض ر = نصف قطر الارض الاستوائي ورَ نصف قطرها القطبي وط طول رقاص مفروض وقت خطرتهِ كثانية عند خط الاستواء وطَ = طول رقاص يخطر خطرةً في نفس وقت الاول فلنا ما مر

$\text{ط} : \text{طَ} :: \text{رَ}^{٢} : \text{ر}^{٢}$ او

$\text{رَ} = \sqrt{\frac{(\text{ط ر}^{٢})}{\text{طَ}}}$ وطَ $= \frac{\text{ط ر}^{٢}}{\text{رَ}^{٢}}$

فاذا عرف طول رقاص يخطر ثواني عند خط الاستواء وطول اخر يخطر ثواني عند القطبة ونصف قطر الارض الاستوائي يستعلم القطبي او

عرف طول الاول ونصف القطر الاستوائي ونصف القطر القطبي يستعلم طول رقاص يخطر ثواني عند القطبة من العبارتين المذكورتين

ثم لنفرض خ — خطرات رقاص على خط الاستواء وخَ — خطراته عند القطبة مع بقاء طوله فلما مر

$$\text{خ}^{٢} : \text{خَ}^{٢} :: \text{رَ}^{٢} : \text{ر}^{٢}$$

$$\text{خ} : \text{خَ} :: \text{رَ} : \text{ر}$$

$$\text{ورَ} = \frac{\text{خَ ر}}{\text{خ}} \quad \text{وخَ} = \frac{\text{خ ر}}{\text{رَ}} .$$

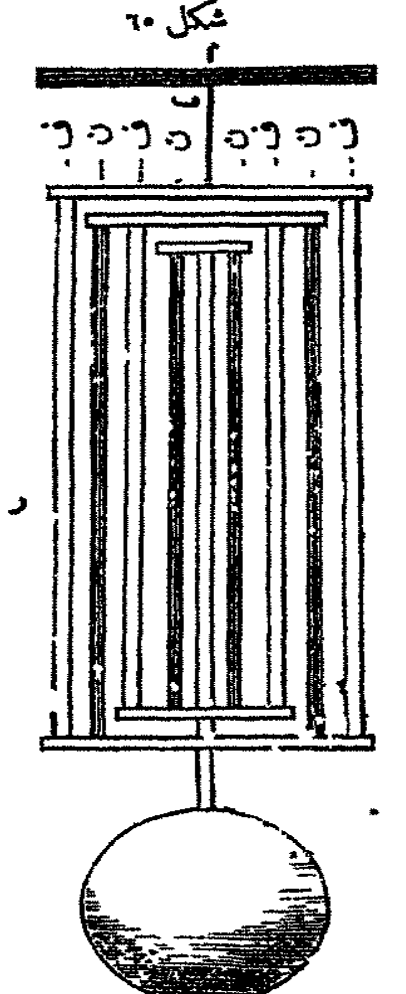
ومن هاتين العبارتين يستعلم نصف قطر الارض القطبي او عدد الخطرات هناك مع بقاء طول الرقاص على حالهِ

١٣٢ ان صد الهوا والفرك على نقطة التعليق يعوقان الرقاص في نزولهِ وصعودهِ في كل خطرةٍ ولاجل التعويض عن ذلك جعلوا لهُ في الات الساعة دفاشًا يدفعهُ قليلاً بحيث يتعوض عن القوة والسرعة التي خسرها بالفرك وصد الهواء ويدوم متحركًا. ولولا الفرك وصد الهواء لكان اذا تحرك يبقى متحركًا الى الابد بدون واسطة. لانهُ بالجاذبية يصل الى خط الجهة ثم بالسرعة التي اكتسبها يصعد الى علوٍ مساوٍ للعلو الذي يهبط منهُ كما مرَّ ثم يرجع كذلك وهكذا يدوم متحركًا

١٣٣ ثم انهُ يحصل عدم ضبط في الساعات الدقاقة من تاثير الحرارة والبرودة لان الشريط المعلق بهِ الرقاص يطول صيفًا ويقصر شتاء ولان عدد الخطرات في وقتٍ تتغير كجذور الاطوال

بالقلب فتقصر الساعة عند ما يطول صيفًا وتسبق عند ما يقصر شتاء بنسبة جذور الاطوال . فلاجل ازالة هذه المحذور قد اختُرِع رقّاص يضبط الوقت تمامًا فلا تطوّله الحرارة ولا تقصرهُ البرودة وهو من المخترعات اللطيفة

ولبيان ذلك نقول انهُ قد وجد بالامتحان ان نسبة تمدُّد النحاس الاصفر الى تمدُّد الفولاذ هو كنسبة ١٠٠ : ٦١ اذا كانا متساويين طولاً فيقتضي ان يكون النحاس ٦١ عقدة مثلاً والفولاذ ١٠٠ عقدة لكي يزيد طول النحاس بمقدار زيادة طول الفولاذ او ينقص بمقدار نقصانهِ . فاذا ارتفع النحاس حينئذٍ وهبط الفولاذ يبقى طول الرقاص على حالهِ . ليكن ر رقاصًا ولتكن القضبان الخمسة المدلول عليها بالحرف ف فولاذًا والاربعة التي عليها الحرف ن نحاسًا ولتكن م مركز الحركة فبيان واضحًا من الرسم ان قضبان الفولاذ بالحرارة تطول الى اسفل فتطيل الرقاص بينما تلك التي من نحاس ترتفع الى اعلى فتقصرهُ لكونها ثابتة في الاسفل وبالبرودة تقصر هذه الرقاص وتطولهُ تلك وقد جعل طول التي ترفع الرقاص الى طول التي تنزلهُ كنسبة ٦١ : ١٠٠ فيرتفع بمقدار ما يهبط بالحرارة او يهبط بمقدار ما يرتفع بالبرودة فيبقى محفوظًا على



طول واحد ولا تختلف عده خطراته بل يحفظ الوقت بكل تدقيق . واول مخترع لهذا الرقاص رجل اسمهُ هرسون انكليزي فاكرم اكرامًا زائدًا بشان هذا الاختراع باعطاء جائزة معتبرة

## مسائل في الرقاص

س ١ ما هو طول رقاص يخطر ثواني حيث الجسم يسقط ١٦ ١/١٢ قدمًا في الثانية ج ٣٩٫١١ عقدة

س ٢ اذا كان طول رقاص يخطر ثواني ٣٩٫١١ عقدة فكم يقتضي ان يكون طول رقاص يخطر عشر خطرات في الدقيقة ج ١١٧٣٫٣ اقدمًا

س ٣ في لندن طول رقاص يخطر ثواني ٣٩٫١٣٨٦ عقدة فما هي السرعة التي لجسم ساقط في اخر الثانية الاولى اعني ٢ ج

ج ٣٢٫١٩ قدمًا

س ٤ نقلت ساعة دقاقة تضبط الساعات من خط الاستواء الى القطبة فكانت تسبق ١١٫٨٤٤ في الساعة ونصف قطر الارض الاستوائي ٧٩٢٥٫٥ ميلاً فكم هو القطر القطبي ج ٧٨٩٩٫٥ ميلاً

# الباب الثالث

## في الميكانيكيات وفيهِ ستة فصول وخاتمة

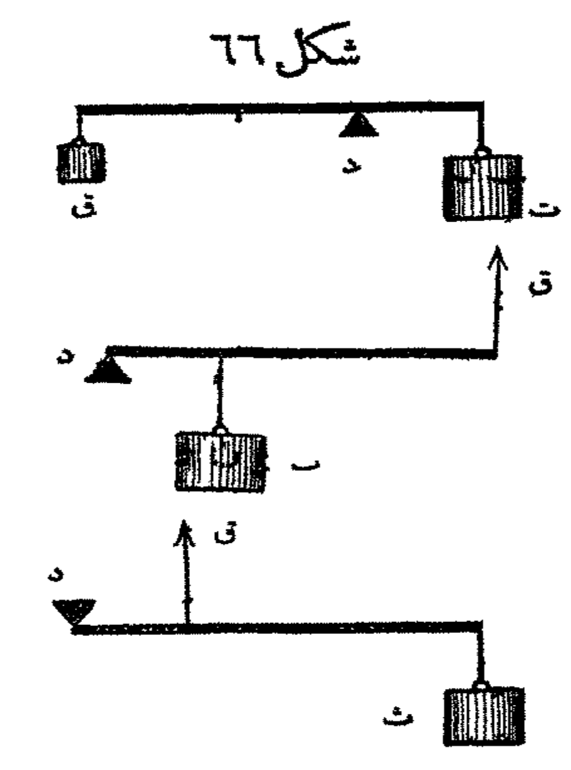
## الفصل الاول

### في المخل والقبان والميزان

١٢٣ علم الميكانيكيات هو البحث في ما يتعلق بالالات. وميكانيكيات كلمة منسوبة الى ميكانيكا لفظة يونانية معناها آلة

ان الالات تقسم الى قسمين بسيطة ومركبة فالبسيطة ويقال لها ايضًا القوات الميكانيكية ستٌّ وهي المخل والدولاب والبكرة والسطح المائل والبرغي والسفين. والمركبة هي ما تركبت من اكثر من واحد من هذه الستة. وعند الحصر يمكن ان تجعل نوعين وهما المخل والسطح المائل لان مرجع الكل اليهما كما سياتي. اما المخل فهو عصا من حديد او من مادة اخرى توضع على نقطة لكي يتحرك طرفاها حول تلك النقطة كمركز حركة ويقال لتلك النقطة دارك ويقال لجزئي المخل الواقعين على جانبي الدارك

ذراعاهُ . ثم ان المخل ينقسم الى ثلاثة انواع النوع الاول ما كان فيهِ الدارك بين القوة والثقل . والثاني ما كان فيهِ الثقل بين القوة والدارك . والثالث ما كانت فيهِ القوة بين الثقل والدارك كما ترى في هذه الرسوم حيث يدل ق على القوة ود على الدارك وث على الثقل في الثلثة

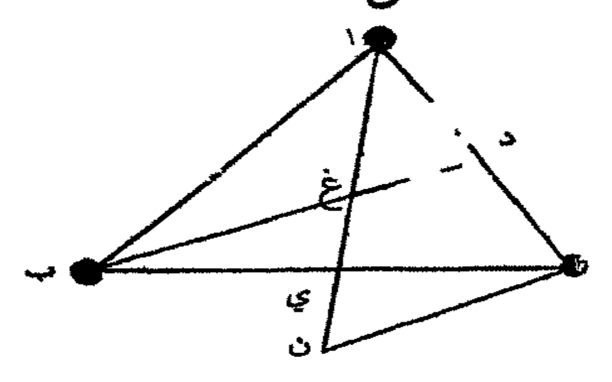



١٣٤ انهُ لواضح انهُ اذا رفع مخل من الصنف الاول ثقلاً بقوة ما فلا بد ان تلك القوة توازن ذلك الثقل والاَّ فلا يرتفع فتكون نقطة الدارك عبارة عن مركز الثقل للجسمين

النسبة الكائنة بين القوة والثقل اذا توازنا على مخل هي كنسبة بعد احدهما عن الدارك الى بعد الاخر بالقلب او كذراعي المخل بالقلب كما مرَّ في مركز الثقل

وبرهان ذلك ليكن ا وب وس ثلثة اثقال متساوية متصلة بشرايط تلتقي في مراكز ثقلها على هيئة مثلث . فواضح ان مركز الثقل لجسمي ا وس هو في منتصف ا س لكونهما متساويين . لنفرض د المنتصف اوصل بين د وب فاذا وضع مثلث ا ب س على حرف مستطيل ينطبق خط د ب

عليهِ يتوازن ا ب س لكون ا و س يوازنان في د و ب يوازن نفسهُ ايضًا لكون د ب قد مرّ على مركز ثقلهِ .




وهكذا يقال ان ا ب س يتوازن على خط ا ي اذا فرض ي منتصف س ب والامر واضح ان غ ملتقى خط د ب و ا ي هي مركز الثقل للمثلث . ش . اخرج ا ى الى ن وارسم س ن يوازى د ب. ولما كانت زاوية س ى ن = غ ى ب و س ى = ى ب و س ن ى = المتبادلة لها ب غ ي فالمثلث س ى ن = غ ى ب (اقليدس ق٢٦ ك ١) وخط ن ى = ى غ اي ان ي غ = ١/٢ غ ن. وانما خط د غ المتوازي لخط س ن لانهُ ينصف ا س في د ينصف ا ن ايضًا في غ اي ا غ = غ ن (اقليدس ق٢ ك ٦). وقد تبرهن ان غ ى هو نصف غ ن فيكون نصف غ ا ايضًا. ثم لكون الضغط على نقطة ى هو بمقدار مجتمع ثقلي ب و س فاذا وضع ب و س عند ى ووصل بشريط بين ى و ا فلا يحصل فرق في الكبس بل يوازنان الجسم ا على دارك عند غ . وانما ب + س = ٢ ا فاذا حسبنا ى ا مخلاً و غ داركًا والجسم ا يكبس بمقدار قوةٍ عندهُ وكان الثقل عند ى مضاعف القوة عند ا تكون غ ا ضعف غ ى وعلى هذا الاسلوب يبرهن انهُ اذا كان الثقل عند ى ثلثة اضعاف القوة ا يكون ا غ ثلاثة اضعاف غ ى وهلمّ جرًّا

اذًا نسبة الثقل : القوة :: بعد القوة عن الدارك : بعد الثقل عنهُ

واعلم انهُ لا يحصل فرق في البرهان بين ان يكون ا و ب و س اجسامًا مستديرة او غير مستديرة لانهُ اذا كانت غير مستديرة تجعل مراكز ثقلها عند ا و ب و س زوايا المثلث كمركز المستديرة

ولنا برهان آخر لذلك وهو . افرض ا قوةً و ب ثقلاً و د داركًا بينهما.

فاذا دار ب الى س حول المركز د في ثانية يتحرك ا الى ي في نفس الوقت ا ى في ثانية فيكون زخم ا = ا × اي وزخم ب = ب × ب س ومن حيث ان ا و ب قد فرض كونهما متوازنين فيكون زخم الواحد مساويًا لزخم الاخر اذًا ا × ا ى = ب × ب س فنسبة

شكل ٦٨

• ا : ب :: القوس ب س : القوس ا ى

ولكن ب د : ا د :: القوس ب س : ا ى القوس

اذًا ا : ب :: ب د : ا د

اي ان القوة الى الثقل كبعد الثقل عن الدارك الى بعد القوة عنهُ فيكون ا × ا د = ب × ب د ولذلك يحسب ا × ا د زخمًا للجسم ا و ب × ب د زخمًا للجسم ب اذا اعتبرنا زخم احدهما مع زخم الاخر

لنفرض ان القوة = ق (شكل ٦٩) والثقل = ث و ب د = بعد الثقل عن الدارك و د س = بعد القوة عنهُ في المخل الاول فحسبما تبرهن نسبة

شكل ٦٩

ق : ث :: ب د : د س

وبتحويل هذه النسبة تصير ق = $\frac{ث \times ب د}{د س}$ او ث = $\frac{ق \times د س}{ب د}$ او د س = $\frac{ث \times ب د}{ق}$ او ب د = $\frac{ق \times د س}{ث}$ فاذا عرفت ثلاثة من هذه الاربعة وجهلت الرابع مهما كان يستخرج بحسب هذه العبارات

١٣٥ ثم في هذا النوع من المخل الضغط على الدارك = مجموع الثقل والقوة لانهما مستقران عليهِ كما اشرنا الى ذلك في البرهان

على النسبة المذكورة انفًا وهي ث : ق :: د سَ : ب د وبجمع هذه النسبة تصير نسبة ث+ق : ق :: د س + ب د : ب د وإذا فرضنا د = الثقل الضاغط على الدارك يكون د = ث+ق وإنما دس + ب د = ب س اي طول المخل كلهُ وبالتعويض تصير النسبة الاخيرة

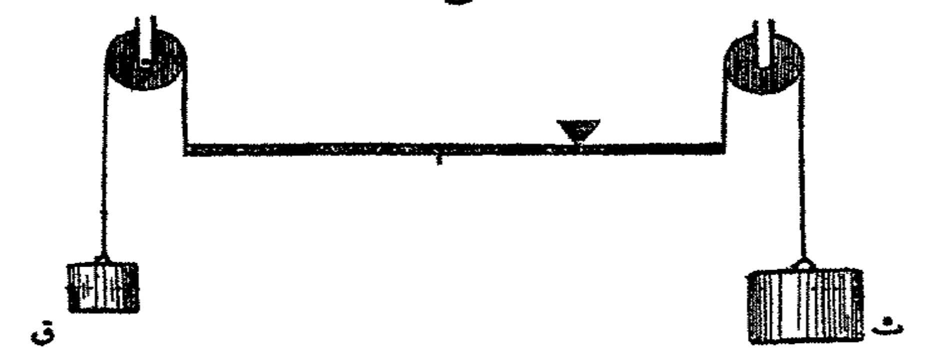
د : ق :: ب س : ب د وهكذا

يبرهن ان نسبة د : ث :: ب س : د س

اي نسبة الثقل الضاغط على الدارك : واحد من الثقل والقوة :: طول المخل : بعد الدارك عن الاخر

١٣٦ ولا فرق في ذلك بين ان يكون ضغط المخل على الدارك الى

شكل ٧٠




اسفل كما مر او الى اعلى اذ يكون الدارك فوق المخل كما ترى (شكل ٧٠) فانهُ يتبين بالبرهان السابق نفسهِ صحة النسبة المذكورة اي انهُ اذا توازن الثقل والقوة فنسبة احدهما : الاخر :: بعد الاخر عن الدارك : بعد الاول عنهُ

ويتبرهن ايضاً كما تبرهن سابقاً الى نسبة الثقل الضاغط على الدارك :
احد الثقل والقوة :: طول المخل : بعد الدارك عن الاخر

تنبيه . يجب ان يلاحظ انه اذا تحرك ذراعا المخل معا في جهة ضغط المخل على الدارك كما اذا التوى ذراعاه محمولاً على ظهر دابة وتحرك معهما الثقل والقوة فالدارك يحمل اكثر من الثقل والقوة اذ يحمل حينئذٍ زخم كل منهما

اما النوع الثاني والنوع الثالث من المخل فتصدق عليهما النسبة المذكورة عينها . لانهُ اذا نظرنا الى النوع الثاني كما في ( شكل ٧١ ) نرى واضحًا ان الثقل هنا كالدارك الضاغط الى اسفل فوق المخل في النوع الاول من المخل ( شكل ٧٠ ) والدارك ب هنا الضاغط الى اعلى كالثقل هناك

شكل ٧١



فاذا وضعنا ث هنا موضع د هناك وب موضع ث كذلك
فلنا ( رقم ١٢٥ و١٢٦ ) ث : ق :: ب س : ب د
و ث : ب :: ب س : د س

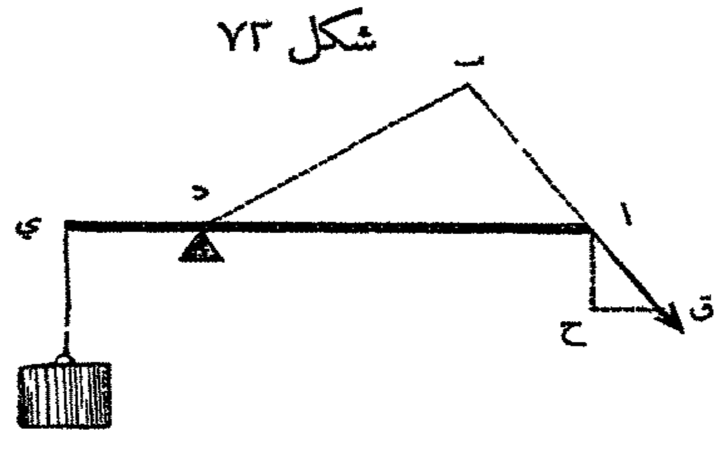
فنرى من ملاحظة هاتين النسبتين ان الثقل والقوة نسبة احدهما : الاخر :: بعد الاخر عن الدارك : بعد الاول وهي ذات النسبة المذكورة للمخل الاول

وعلى هذا الاسلوب يمكن ان يبرهن ان هذه النسبة تصدق على المخل الثالث . وعلى كل حال يظهر انهُ كلما ابتعدت القوة عن الدارك توازن ثقلاً اعظم . لانهُ مع بقاء ق وب د يتغير ث في الاولى من النسبتين المذكورتين كتغير ب س وهكذا في نسبة المخل الاول والثالث

١٢٧ يجب ان تلاحظ جهة القوة والثقل . فان جعلت

جهتا القوة والثقل مع المخل زاويتين متساويتين والا فلا تصح النسبة المذكورة بل تكون القوة : الثقل :: عمودي من الدارك على جهة الثقل : عمودي منهُ على جهة القوة

مثالهُ ليكن ا ى مخلاً موازيًا لسطح الافق داركهُ د ولتفعل القوة ق في هذا المخل على جهة ا ق غير العمودية وليفعل الثقل على جهة عمودية ي ث.



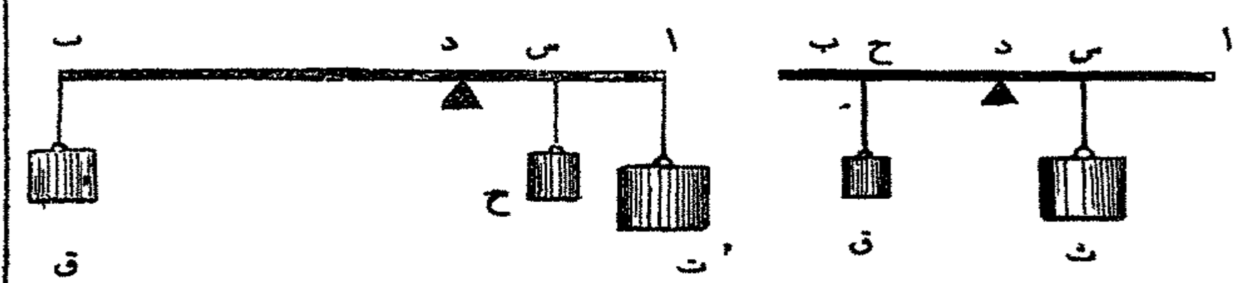

اخرج اق الى ب واجعل د ب عموديًّا عليهِ ومن ق ارسم خط ق ح موازيًا للافق وارسم ا ح عمودًا عليهِ فتكون ا ق قد انحلت الى قوتين ا ح و ح ق وتكون ا ح هي الفاعلة ضد الثقل ث وبالموازنة يكون لنا بموجب نسبة المخل ا ح × ا د = ث × ى د وانما ا ح ق و ا ب د متساويتان لكونهما قائمتين و ب ا د = ا ق ح الداخلة المتقابلة فمثلثا ا ب د و ا ح ق متشابهان ونسبة ا ق : ا ح :: ا د : ب د وبتحويلها تصير ا ح × ا د = ا ق × ب د وقد بينا ان ا ح × ا د = ث × ى د فاذًا ا ق × ب د = ث × ى د وقد جعل ا ق للدلالة على القوة فتكون القوة مضروبة في العمودي من الدارك على خط جهتها بعد اخراجهِ = الثقل × بعدهِ عن الدارك اي نسبة ق : ث :: ى د : د ب . فاذًا اذا كان ذراعا المخل خطين منحنيين او ليسا على استقامةٍ واحدة يوجد طولاهما اللذان تصدق عليهما النسبة برسم عمودين من الدارك على جهتي القوة والثقل

ويجوز ان تحوَّل القوة عند ق الى قوةٍ فاعلة عند ح عمودية على سطح

الافقي بهذه النسبة ا ق : ا ح :: القوة عند ق : القوة عند ح ثم تجري النسبة بموجب نسبة المخل . ولايخفى ان هذه الطريقة اسهل عند اعتبار ثقل المخل

١٣٨ فيما مرّ لم نلتفت الى ثقل المخل وكنا نحسبهُ خطًّا هندسيًّا لا ثقل لهُ . ولكن اذا اعتُبِر ذلك وكان ذراعاهُ غير متساويين فلا يعرف الدارك الحقيقي بنسبة المخل المذكورة لان الذراع الاطول يساعد القوة على ان تقيم اكثر من الثقل المفروض فيجب ان يكون الدارك اقرب قليلاً للقوة عن مكانهِ الذي يستخرج بالنسبة وسياتي الكلام على معرفة الدارك الحقيقي. وانما اذا جعلنا ذراعي المخل متوازنين ووضعنا الثقل والقوة على جانبي الدارك فلايحصل خلل في النسبة

فاذا كان الدارك د منتصف ا ب ( شكل ٧٣ ) وعلقنا بالمخل ثقلاً مثل ث عند س وثقلاً اخر مثل ق عند ح وث وازن ق تصدق حينئذٍ

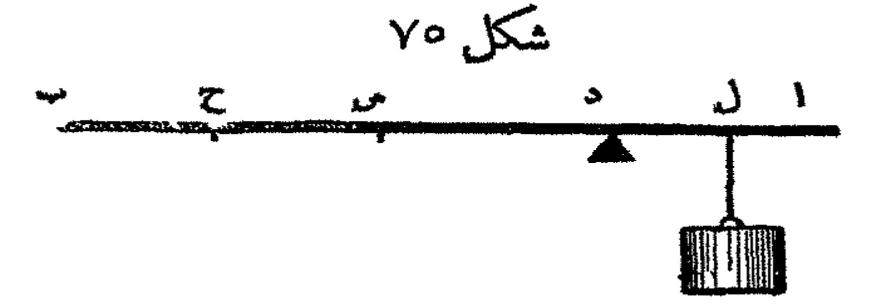



نسبة المخل وهي ث : ق :: ح د : د س اي ث × س د = ق × ح د. وذلك لان المخل قد توازن في د فلا يميل مع القوة ولا يميل مع الثقل فكانهما تعلقا على خط هندسي . ومثل ذلك اذا علق ثقلٌ مثل ح على الذراع الاقصر

ا د في نقطة مثل س كما في ( شكل ٧٤ ) بحيث اذا رفع ث وق يتوازن المخل ا ب في ه بواسطة الثقل ح فلا غلط في النسبة لما مر وقبل ان نعرف الدارك الحقيقي يجب ان نجد عبارة ثقل المخل

١٢٩ اما طريقة معرفة ثقل المخل فهي كما ياتي . لنفرض ان ا ب مخلاً ضعهُ على دارك عند د حتى يكون ذراعاه ا د و د ب غير متساويين ثم علق ثقلاً مثل ق حتى يجعل المخل ا ب موازنًا في نقطة مثل ل واجعل د س = ا د واقسم س ب الى نصفين في ح . فلا يخفى ان الثقل ق عند توازن المخل يكون قد وازن ثقل س ب فضلة الذراعين لان ا د و د س متساويان فهما متوازنان واما مركز ثقل س ب فهو في المنتصف ح فكانهُ علق من ح

شكل ٧٥




ثقل = س ب ووازنهُ ق افرض ثقل س ب = ث فحسما مرَّ ق × ل د = ث × ج د وانما ح د = س د + ح س وهما نصفا جزئي المخل ا س وس ب فتكون ح د = نصف المخل كلهِ = ½ ا ب فتكون ق × ل د = $\frac{ث \times اب}{٢}$ وث = $\frac{٢ق \times ل د}{اب}$ اي ثقل فضلة ذراعي المخل اذا توازن في الثقل ق = ضعف ذلك الثقل × بعدهِ عن الدارك ÷ طول المخل

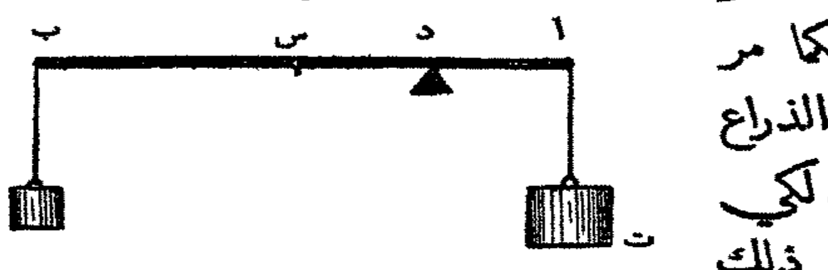
وانما اثقال اسطوانات ذات ثخن واحد تتغير كعلواتها فلنفرض ان ثقل المخل ا ب = ك وكما تقدم ثقل س ب = $\frac{٢ق \times ل د}{اب}$ فيكون لنا هذه النسبة $\frac{٢ق \times ل د}{اب}$ : ك :: ب س : ا ب وبا لتحويل ك = $\frac{٢ق \times ل د}{ب س}$

اي اذا توازن المخل بثقل معلق عند نقطة في الذراع الاقصر يعرف ثقل المخل بضرب مضاعف ذلك الثقل في بعده عن الدارك وقسمة الحاصل على فضلة طولي الذراعين . ولا يحصل فرق في العبارة اذا فعلت القوة ق الى فوق وضغط الدارك الى تحت فوالحالةهذه نبرهن العبارة على الاسلوب المذكور

١٤٠ اما الدارك الحقيقي فيعرف بان تضيف نصف ثقل المخل الى كلٍّ من الثقل والقوة ثم نقول احدهما مع نصف ثقل المخل : الاخر معهُ :: بعد الاخر عن الدارك : بعد الاول

ولبرهان ذلك لنفرض ا ب مخلاً يتوازن عليهِ ث وق على الدارك ( شكل ٧٦ ) . اجعل د س — ا د فكما مر يجب ان يوازن الذراع ا د للذراع ب د لكي تصح النسبة وعلى ذلك

شكل ٧٦




يقتضي ان نحذف من ث كمية توازن س ب فلنفرض تلك الكمية — ك ولنفرض ثقل المخل — ثَ فحسب ما تقدم ثَ — (٢ك × اد)/(س ب) او ثَ — (٢ك × اد)/(ب د — اد)

و ½ ثَ × ( ب د — ا د ) — ك × ا د

وك — (½ ثَ × (ب د — اد))/(اد)

وقد قلنا انهُ يجب طرح ك من ث لكي تصح النسبة اي ث — ك : ق :: ب د : ا د

وبتحويل النسبة تصير ا د × ث — ا د × ك — ق × ب د

وبالتعويض عن قيمة ك تصير اد × ث – ١/٢ ثَ × ب د + ١/٢ ثَ × اد = ق ب د

وبالنقل تصير   اد × ث + ١/٢ ثَ × اد = ق × ب د + ١/٢ ثَ × ب د

او   اد × ( ث + ١/٢ ثَ ) = ( ق + ١/٢ ثَ ) × ب د

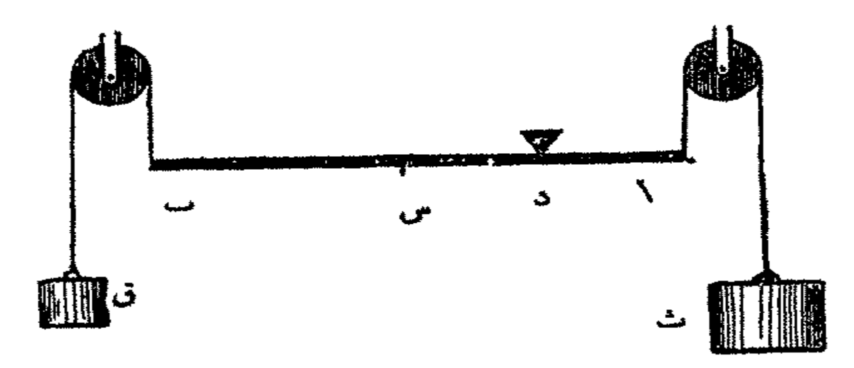
وبحل هذه المعادلة الى نسبة ث + ١/٢ ثَ : ق + ١/٢ ثَ :: ب د : اد

اي لكي نجد الدارك للنوع الاول من المخل مع اعتبار ثقل جرم المخل يجب ان يضاف نصف ثقل المخل الى كل من الثقل والقوة على حدةٍ ثم تجري النسبة على ما تقدم

## ١٤١ ثم انهُ يجب طرح نصف ثقل المخل من كل من الثقل والقوة ايضاً اذا كانا يفعلان الى فوق والدارك يضغط الى اسفل

مثالهُ في (شكل ٧٩) اذا توازن المخل اب في د تصدق النسبة ولكن بما ان د ب اطول من اد بمقدار س ب يشد ثقل س ب ضد ق فلا تصدق

شكل ٧٩




ما لم يطرح من ق كمية توازن س ب فلنفرض تلك الكمية ك وثقل المخل ثَ فحسبما تقدم

ثَ = ٢ك × ب د / س ب   او ثَ = ٢ك × ب د / (ب د – اد)

وك = (٢/١ ثَ × ب د − ٢/١ ثَ × ا د) ÷ ب د

وبالنسبة ق — ك : ث :: ا د : ب د

وب د × ق — ب د × ك = ث × ا د

وبالتعويض عن قيمة ك ب د × ق — ٢/١ ثَ × ب د + ٢/١ ثَ × ا د = ث × ا د

وبالنقل والفك ب د ( ق — ٢/١ ثَ ) = ا د ( ث — ٢/١ ثَ )

وبالنسبة ق — ٢/١ ثَ : ث — ٢/١ ثَ :: ا د : ا ب

١٤٣ واما النوع الثاني من المخل فلنفرض ان ا ب مخلاً من هذا الصنف القوة فيهِ عند ا والثقل عند د والدارك عند ب (شكل ٨٠).

شكل ٨٠




فلا يخفى ان الثقل يشد الى اسفل والقوة والدارك الى اعلى ولذلك يكون الدارك فيهِ عوض الثقل في المخل الذي قد ذكر قُبَيل هذا والثقل هنا عوض الدارك هناك . فاذا اعتبرنا ثقل المخل وفرضناهُ ثَ كما مر وفرضنا الضغط عند الدارك = ب يكون لنا مما مر

ب — ٢/١ ثَ : ق — ٢/١ ثَ :: ا د : ب د

وبجمع النسبة تصير ب + ق — ثَ : ق — ٢/١ ثَ :: ا ب : ب د

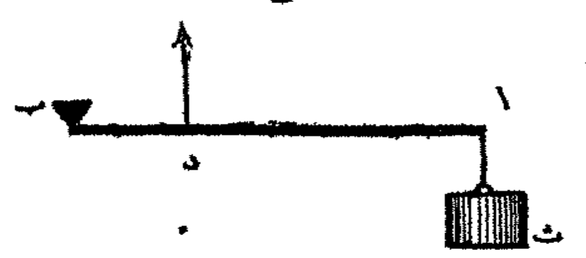
وانما لكون القوة والدارك يحملان ثقل المخل والثقل معًا يكون

ق + ب = ثَ + ث
او ق + ب — ثَ = ث } ويكون ث : ق — ٢/١ ثَ :: ا ب : ب د

اي يجب ان يطرح من القوة فقط نصف ثقل المخل لكي تصح النسبة في النوع الثاني من المخل

١٤٣ واما النوع الثالث من المخل كهذا الرسم. فلنفرض ان القوة تفعل عند د في الوسط فهي بمنزلة الدارك الذي يفعل الى فوق في المخل الاوّل والضغط على الدارك مثل القوة هناك ولنفرض ان الضغط على الدارك = ب فمن نسبة المخل

شكل ٨١




ب + ١/٢ ثَ : ث + ١/٢ ثَ :: ا د : ب د

ويجمع النسبة ب + ث + ثَ : ث + ١/٢ ثَ :: ا ب : ب د

وانما لكون القوة هنا حاملة ضغط الدارك والثقل وثقل المخل معًا يكون ب + ث + ثَ = ق فبالتعويض يكون ق : ث + ١/٢ ثَ :: ا ب : ب د

اي يجب ان يضاف في المخل الثالث نصف ثقل المخل الى الثقل فقط لكي تصح النسبة

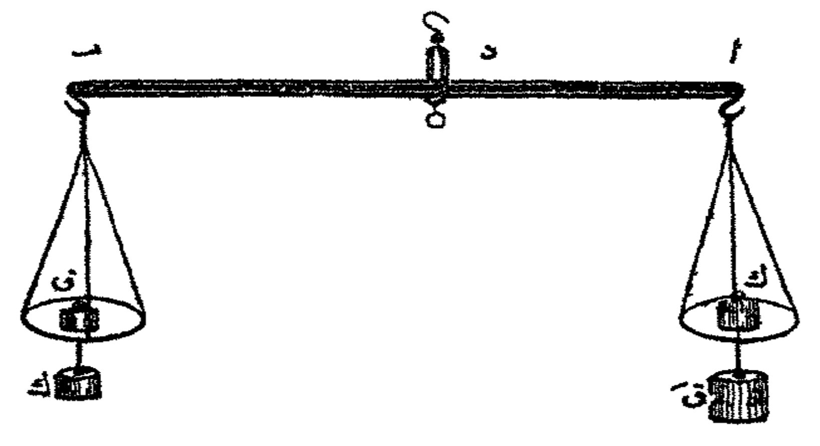
ولا يخفى انهُ اذا شدَّ عند الموازنة الاوسط الى اعلى يشد ما على الطرفين الى اسفل وبالعكس ولنا من ذلك قاعدة عمومية لتصحيح النسبة في اي نوع كان من الثلاثة المخال وهي اذا كان الاوسط يشد الى اعلى يجب ان يضاف الى كلٍّ ما على طرفي المخل نصف ثقل المخل والعكس بالعكس

١٤٤ في الميزان والقبان . اما الميزان فهو آلة لمعرفة ثقل المواد وهو من النوع الاول من المخل بحسب العيار فيهِ قوة والموزون ثقلاً ويجوز العكس والمسمار فيهِ الذي يدور عليهِ

الميزان هو الدارك . واذ كان يقصد فيه مساواة العيار بالموزون ليعرف الثاني من الاول فلاجل ضبط الوزن فيه يجب ان يكون ذراعاهُ متساويين تماماً في الطول والوزن وان يتوازن كفتاه حتى يجعلا الذراعين على موازاة سطح الافق . والاَّ يحصل خطا في الوزن لانهُ مما مر يظهر جليّاً ان ثقلاً على الذراع الاطول يوازن اكبر منهُ على الاقصر وبالعكس وهذا النوع من الميزان يقال لهُ ميزان الغش وبالاصطلاح الدارج الميزان الذي ياخذ ويعطي . فلنجد الوزن الحقيقي اذا وزنّا ثقلاً في كفتي ميزان كهذا اضرب وزنهُ في احدى الكفتين في الوزن في الاخرى وخذ الجذر المالي من حاصلهما

لنفرض ان ا ب ميزاناً قبّتهُ د واد اقصر من د ب وزن فيهِ ك فوازن

شكل ٨٢



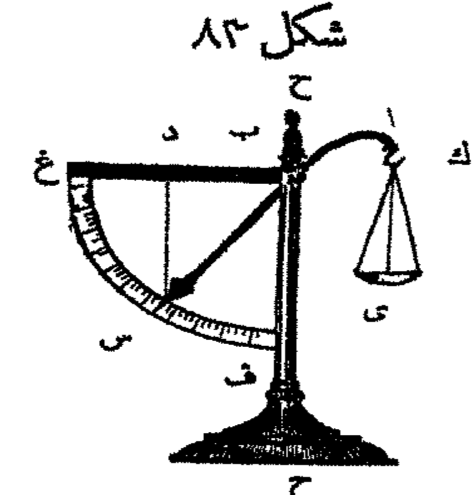

ق العيار على الذراع الاطول الذي هو اصغر منهُ لما لا يخفى ثم رُفعا كلاهما

ووضع ك في الكف الثاني ووازن قَ الذي هو اكبر منهُ فحسبما مر ك : ق :: ب د : ا د وك $= \frac{ق \times بد}{اد}$ وايضاً ك : قَ :: ا د : ب د وك $= \frac{قَ \times اد}{بد}$

وبضرب هاتين العبارتين تصيران $ك^2 = ق \times قَ$ وك $= \sqrt{ق \times قَ}$ اي يوجد الوزن الحقيقي في ميزان غش لموزونٍ ما بوزنهِ في كل من كفتي الميزان ثم باخذ الجذر المالي من حاصل الوزنتين

١٤٥ يوجد انواع كثيرة من الميزان جميعها مصنوعة على المبدا المذكور. ولنذكر هنا هذا النوع من الميزان المدلول عليهِ بهذا الشكل . فانهُ يحتوي على مخلٍ منحنٍ اب س الحامل طرفهُ س ثقلاً ثابتاً وهذا المخل يدور على الدارك ب الذي هو مسمار مغروز في العمود ج ح . والذراع ا معلق الكفة ي بهِ. والربع ف غ المفروض عليهِ درجات متصل بالعمود وعليهِ يتحرك المخل. من ب ارسم الخط الموازي للافق غ ك وليرسم عليهِ العمودين ا ك ود س. فمن ثم ان كان ب ك وب د متناسبين بالقلب كالثقل في الميزان ي والثقل الثابت س فيكون الميزان موازناً ( رقم ١٢٧ ). ولكن ان لم يكونا كذلك. يتحرك المخل وس تبعد عن الدارك او تقرب اليهِ الى ان تقف حيث يقتضي ان تكون الموازنة . وهذا الربع منقسم الى درجات بوضع اوزان معلومة اولاً في ي

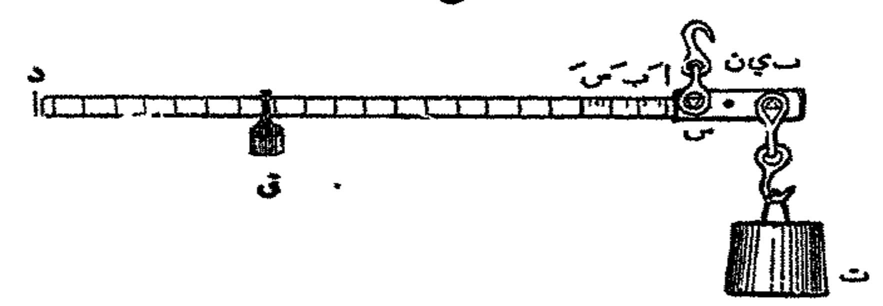
شكل ٨٣




١٤٦ اما القبان فهو ايضاً من النوع الاول من المخل ذراعاهُ غير متساويين مثل ب س و س د معلق بهِ الثقل ق ليتحرك على الذراع الاطول س د حتى يوازن اثقالاً مختلفة معلقة على الطرف الاخر ب وهذا الثقل يقال لهُ بيضة القبان

فحسب ما مرَّ بدون التفات الى ثقل الذراعين نسبة ق :ث:: ب س : ا س اي ث × ب س = ق × ا س وانما ق و ب و س مفروضٌ انهما لا يتغيران اذًا ث ∞ ا س فان جعل س آ آ بَ بَ سَ الخ متساوية اي س بَ = ٢ س آ و س سَ = ٣ س آ فان وازن ق رطلاً عند آ فيوازن رطلين عند بَ وثلاثة ارطال عند سَ وهلمَّ جرًّا . ثم لنفرض ان عصا القبان ا التي هي

شكل ٨٤



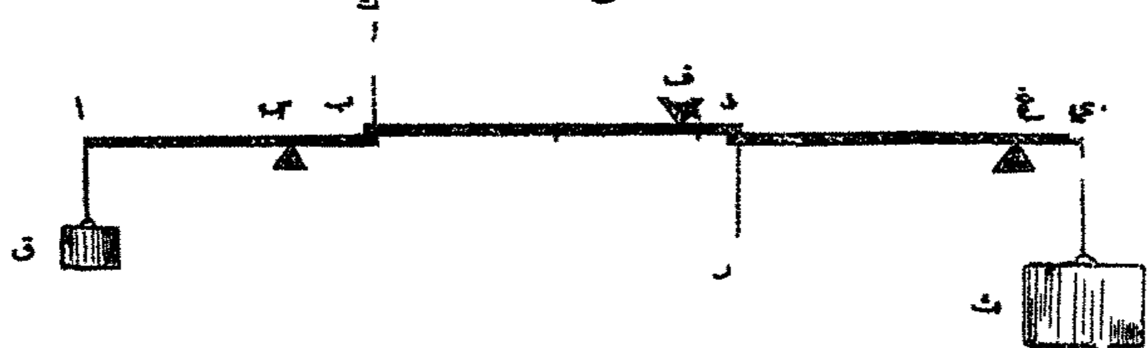
من فولاذ لهاثقل وان زيادة ثقل الذراع الاطول س د على الاقصر س ب تكون بمقدار انهُ اذا وضع الثقل المتحرك ق عند ي يجعل الذراعين متوازنين فان وضع الثقل عند ب وكان موازنًا للثقل ق معلقًا عند ا يكون لنا ث × ب س = ق × ا س + ق × س ي = ق × ( ا س + س ي ) = ق × ا ي . واذ كان ق و ب س ثابتين اذًا ث ∞ ا ي . فاصطناع القبان والحالة هذه يكون كما تقدم . غير ان فرْض الدرجات يجب ان يبتدي من ي . وقد اختُرِع انواع كثيرة من القبان يسهل ادراكها على من يعرف المبدا المذكور

١٤٧ المخل المركب . هو عدة امخال تجعل متحدة لكي تفعل معًا . ولا يخفى انهُ كلما كثرت الامخال في التركيب تزيد نسبة الثقل الى القوة فترفع حينئذٍ قوة صغيرة ثقلاً كبيرًا جدًّا كما سترى

ففي تركيب امخال متحدة معًا كما يدل عليهِ في ( شكل ٨٥ ) يحصل

توازن اذا كان ق : ث :: ب س × د ف × ي غ : ا س × ب ف × د غ .
وذلك لانه اذا فرض انه حصل التوازن وان القوات التي تفعل عند ب و د

شكل ٨٥




يدل عليها بحرفي ك و ر فاذن

$\text{ق : ك :: ب س : ا س او ك} = \frac{\text{ق × ا س}}{\text{ب س}}$

ك : ر :: د ف : ب ف

$\text{ر : ث :: ي غ : د غ او ر} = \frac{\text{ث × ي غ}}{\text{د غ}}$

وبضرب هذه النسب تصير ق : ث :: ب س × د ف × ي غ : ا س × ب ف × د غ

اي انه في المخل المركب القوات المتقابلة تكون متوازنة اذ تكون القوة الى الثقل كنسبة حاصل كل الاذرع على جانب الثقل الي حاصل كل الاذرع على جانب القوة

ثم الضغط على الدارك س = ق + ك = ق + $\frac{\text{ق × ا س}}{\text{ب س}} = \frac{\text{ق × ا ب}}{\text{ب س}}$

. . . ف = ك + ر = $\frac{\text{ق × ا س}}{\text{ب س}} + \frac{\text{ث × ي غ}}{\text{د غ}}$

. . . غ = ر + ث = $\frac{\text{ث × ي غ}}{\text{د غ}}$ + ث = $\frac{\text{ث × د ي}}{\text{د غ}}$

ولا تخفى على الفطن مما مر في المخل البسيط معرفة طريقة التصرف اذا اختلفت جهة القوة وجهة الثقل هنا فتدبر

## سوءالات للتمرين

س¹ على طرف واحد من مخل مستقيم طولهُ سبعة اقدام عُلِّق ثقل مقدارهُ ١٠ ارطال وعلى بعد ٥ اقدام من نقطة التعليق وضع دارك فكم يقتضي ان يعلق في الطرف الاخر لاجل حصول الموازنة ج ٢٥ رطلاً

س² مخل من الصنف الثاني طولهُ ٢٥ قدمًا ففي اي بعد من الدارك يقتضي ان يوضع ثقل ١٢٥ رطلاً حتى يقام بقوة تحمل ٦٠ رطلاً فاعلة عند طرف المخل ج ١٢

س³ مخل مستقيم اسطواني طولهُ ١٤ قدمًا ووزنهُ ٣/٤ ٣ق ٦ط طول ذراعهِ الاطول ٩ والاقصر ٥ اقدام على طرف ذراعهِ الاقصر علق ثقل ٧ اق ١٥ط فاي ثقل يجب ان يوضع عند طرف الذراع الاطول ليبقيهُ بالموازنة ج ٧ ط

س⁴ جسم وزنهُ ١١ رطلاً في كفة ميزان غش و٣/٤ ٢ق ١٧ط في كفتهِ الثانية فما هو وزنهُ الحقيقي ج ٩ق ١٣ط

س⁵ زيد وعمر متساويان طولاً حملا على اكتافهما ثقلاً وزنهُ قسطار ونصف معلقًا على عصاة طولها ٢/١ ٩ اقدام والثقل موضوع على بعد ٢/٣ ٦ اقدام من زيد فكم على كل منهما من الثقل ج زيد حمل ٦/٧ ٤٢ وعمرو حمل ١/٢ ١٠٧

س⁶ طول الذراع الاطول من قبان قدمان وعقدتان وطول الاقصر ٢/٣ ٢ عقدة اوضام التعليق فيهِ موضوعة حتى ان ثقل بيضة القبان التي هي رطلان اذا وضعت على الذراع الاطول على بعد ١٠ عقد من نقطة الحركة توازن ٨ ارطال على طرف الذراع الاقصر والبيضة لا يصح ان توضع على بعدٍ اقل من ٢/٣ عقدة من الدارك فكم يقتضي ان يكون طول اجزاء التقسيم

لكي تزن اواق وماذا يكون وزنُ اقل ثقل واعظم ثقل يوزنان عليهِ

ج اجزاء التقسيم ½ عقدة . والقبان يزن من رطل الى ٢٠ رطلاً

س ٧ مفروض القوة ق = ١٠ ارطال في هذا الرسم فاعلة بواسطة الخيط ق ن ا وخط ل ن العمودي على ا ل = ٣ اقدام و ا ن = ٥ اقدام

شكل ٨٦



والذراع ا د = ٦ و د ب = ٢ وثقل المخل ٦ ارطال فكم تقيم القوة ق من الثقل عند ب ج ث = ٢٠ ط

# الفصل الثاني

## في الدولاب والجزع

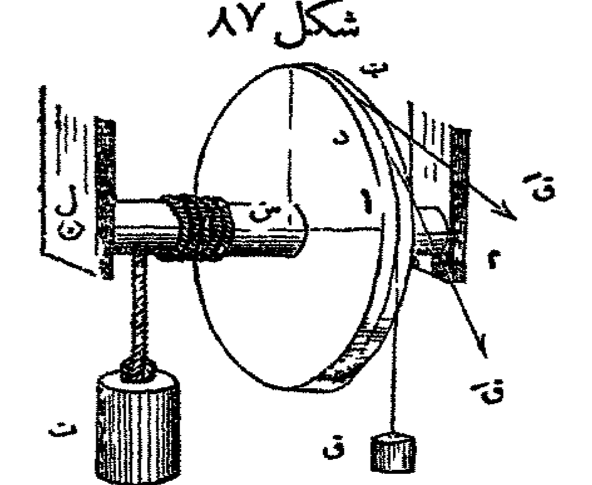
١٤٨ اما الدولاب فمعروف واما الجزع او المحور فهو اسطوانة داخلة في وسط الدولاب متحدة بهِ اتحادًا محكمًا وكلاهما يدوران معًا على خطّ مستقيم يمر بمركزي قاعدتي الجزع هو محوَر مشترك لكليهما. فعند تشغيل هذه الآلة لاجل عمل ميكانيكي القوة تفعل على محيط الدولاب في جهة مماس على جانب والثقل عند محيط الجزع كذلك على الجانب المتقابل. ولا يخفى ان محور الدولاب كدارك لمخل يدور عليهِ ذراعاهُ ونصف قطر الدولاب

ونصف قطر الجزع هما كذراعي المخل الاطول والاقصر والقوة والثقل لا تتغير نسبة احدهما الى الاخر ما دامت القوة تمس الدولاب كما سياتي ولو انتقلت القوة الي خلاف الجهة المتقابلة :

والدولاب والجزع ليسا الا نوعاً من المخل دائم الفعل

ليكن ث (شكل ٨٧) ثقلاً معلقاً بالجزع لهُ قوة ان يدورهُ على خط ل م المحور الى جهةٍ و ق القوة الفاعلة على الدولاب لها قوة ان تديرهُ الى الجهة المتقابلة. فواضح ان نصف قطر المحور واس نصف قطر الدولاب هما البعدان اللذان يفعل عندهما الثقل والقوة وعند الموازنة زخم ث يقتضي ان يساوي زخم ق . فاذا

شكل ٨٧




فرضنا ر نصف قطر الدولاب و رَ نصف قطر الجزع يكون ث × رَ = ق × ر او ق : ث :: رَ : ر

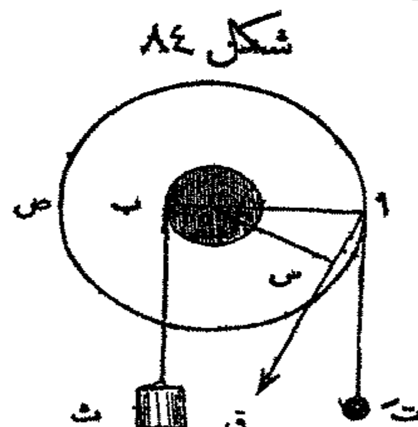
ان جذب الحبل قوّةٌ في جهة قَ او قً عوض تعليق الثقل ق بالحبل لكي يضاد الثقل ث فلا يزال مماسًا لمحيط الدولاب فتبقى القوة فاعلةً على بعد مثل س ا نصف قطر الدولاب لان س د و س ب كل منهما نصف قطر ايضًا و يساوي س ا . والقاعدة المطردة لموازنة هذه الآلة هي

اذا فعلت القوة مماسة للدولاب فنسبة القوة الى الثقل كنسبة نصف قطر الجزع الى نصف قطر الدولاب

١٤٩ ان لم تفعل القوة عمودية على نصف قطر الدولاب كما اذا ربط

الحبل عند ا وفعلت على جهة منحرفة مثل ا ق (شكل ٨٤) اذ يدل الشكل على سطح قاطع الدولاب والمحور فبحسب قانون المخل (رقم ١٢٧)

شكل ٨٤

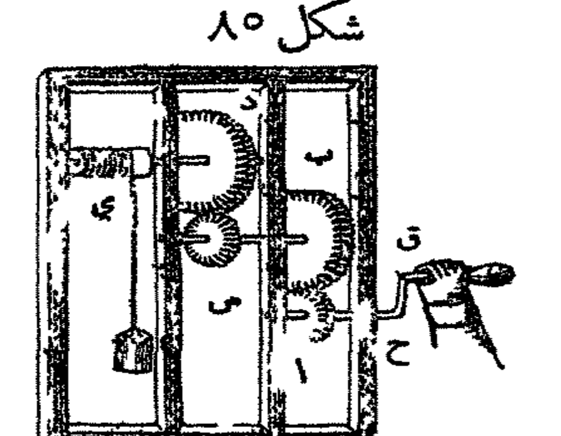



ق : ث :: ب د : س د :: نصف قطر المحور: نصف قطر الدولاب مضروباً في جيب الزاوية التي تجعلها ق مع نصف قطر الدولاب

تنبيه . يجب ان يحسب نصف قطر الدولاب ونصف قطر الجذع من محور الحركة الى مركز الحبل اي يقتضي ان يضاف نصف ثخن الحبل الى نصف قطر الداير الملفوف عليه . فلنحسب ت نصف قطر الحبل الذي على الدولاب وتَ نصف قطر الذي على الجذع فتكون نسبة الموازنة للدولاب والجذع هكذا ق : ث :: رَ + تَ : ر + ت

١٥٠ الدولاب المركب . اذا حركت دواليب متتابعة كما في (شكل ٨٥) تسمى التي توصل الحركة بالمحيط مثل ا و س الدواليب السائقة والتي تحرك مثل ب ود الدواليب المسوقة . وناموس الموازنة فيها هو القوة الى الثقل كحاصل انصاف اقطار الدواليب السايقة الى حاصل انصاف اقطار الدواليب المسوقة

شكل ٨٥



المسكة فــ ح يقتضي ان تحسب من ّالدواليب المسوقة والجزع ي من الدواليب السائقة

لنفرض نصف قطر ب = ر ونصف قطر د = رَ ونصف قطر ا = ر ونصف قطر س = رَ ونصف قطر ي = رً ولنحسب القوة الفاعلة من الدولاب ا يا لدولاب ب = ك والتي من س با لدولاب د = ي

ثم ق : ك :: ر : ق ح

ك : ي :: رَ : ر

ي : ث :: رً : رَ

اذاً ق : ث :: ر × رَ × رً : ق ح × ر × رَ

فان تساوت الدواليب السابقة وكذا المسوقة وكان عدد كلٍ من الفئتين ع تكون

ق : ث :: $ر^ع$ : $ر^ع$

## مسائل في الدولاب والجزع

س١ قوة ١٢ رطلاً توازن قنطارًا على دولابٍ وجزعٍ طول نصف قطر الجزع ٦ عقد فما هو قطر الدولاب ج ٨ اقدام و٤ عقد

س٢ ث = ٥ قناطير ور = ٤ اقدام ورَ = ٨ عقد اما الثقل فمعلق بحبل ثخنة عقدة واما القوة ففاعلة عند محيط الدولاب بدون حبلٍ فاي قوة تحمل الثقل ج ٨٨٫٥٤ رطلاً

س٣ اربعة دواليب مسوقة اقطارها ٥ و٦ و٠١ و٢١ من الاقدام حركت بقوة ١٥ رطلاً فاعلة عند محيط الدولاب الاول وهذه الدواليب يفعل احدها على الاخر بواسطة ثلاثة دواليب صغرى قطر كلٍ منها ١٠ عقد

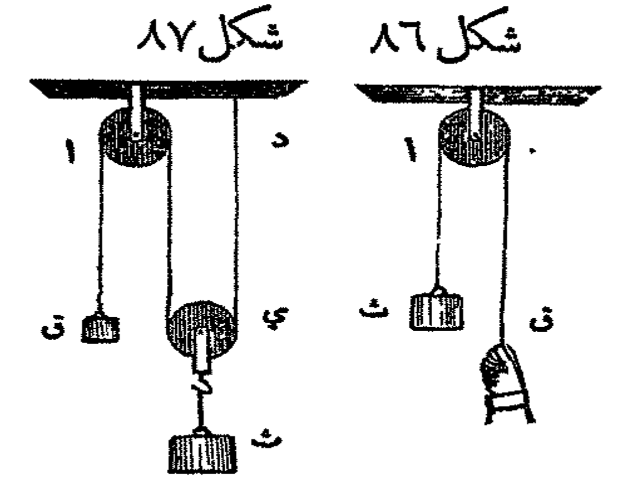
والدولاب الاخير يدير جزءا قطرهُ ٤ عقد فأي ثقلٍ يحملهُ حبل ملتف على هذا المحور ج ٤٦٦٥٦ رطلاً

# الفصل الثالث

## في البكرة

١٥١ البكرة هي دولاب صغير محفور محيطهُ يدور حول محور مدخل في مركزه وفي طرفي شعبتي ساعدة وذلك المحور قد يكون ثابتًا وقد يكون متحركًا. اما المبدأ الذي عليهِ ترفع الاثقال بواسطة بكرةٍ او نظامٍ من بكرات فبسيط جدًّا كما سيأتي بيانهُ

فالبكرة المفردة الثابتة كالبكرة ا (شكل ٨٦) المعلق عليها الثقل ث الذي تفعل بهِ القوة ق بواسطة الخيط ق ا ث المار بحفر المحيط لا فائدة ميكانيكية فيها. وذلك لانهُ ان كان الحبل يتحرك بسهولةٍ حول البكرة فواضح ان الشد على جانب واحد متساوٍ لهُ على الجانب الآخر وبالنتيجة ان القوة يقتضي ان

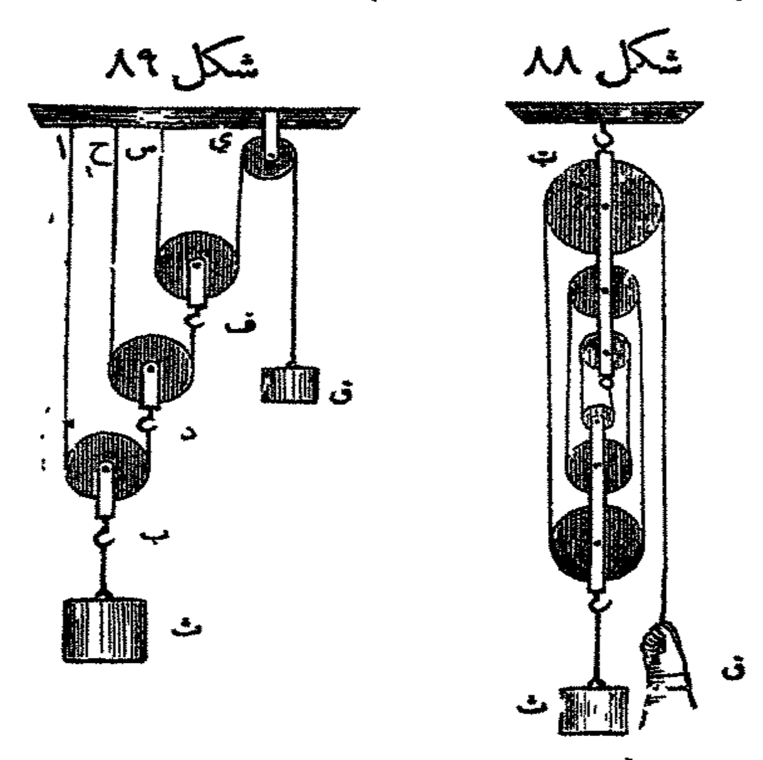



تساوي الثقل الذي تحملهُ والفائدة الوحيدة لهذا النوع من البكرة هي ان قوة مفروضة يمكن ان ترفع او تحرك ثقلاً مفروضًا على اسهل مراس بتغيير الجهة

الفاعلة عليها القوة. اما الضغط على محور البكرة ا فواضح انهُ يساوي ق+ث

١٥٢ ولكن ان رفع ثقل مثل ث القوة ق كما في (شكل ٨٧) فاعلة على خيطٍ مار على بكرةٍ متحركة ى كما على بكرة ا فالامر واضح اذًا ان هذا الثقل يحمل بخيطين ا ي و د ي . واذ كان معلقًا من البكرة ي فلا بد ان يفعل هذان الحبلان على بعدين متساويين من ذلك المركز وبالضرورة لا بدَّ ان كل خيط يحمل نصف الثقل . وانهُ لواضح انهُ مهما رُفع الثقل ث بالخيط ا ي فلا بد ان يرتفع بالقوة ق الفاعلة على خيطٍ يتحرك بسهولةٍ على البكرة الثابتة ا . فاذًا اذا حصلت موازنة تكون ق = ½ ث او ث = ٢ ق اي نسبة ق : ث :: ١ : ٢ . اما الضغط على الحلقة د فهو ث/٢ او ق وعلى محور البكرة ا = ق + ث/٢ = ٢ ق

١٥٣ وعلى هذا المبدا يفعل نظام يمر خيط واحد حول كل البكرات




فيهِ كما في ( شكل ٨٨ ) لانهُ واضح ان الثقل ث معلق بكل الخيطان عند البكرات السفلى فان كان عدد هذه الخيطان ع فكل خيط يحمل ١/ع من

الثقل ولكن لما يكون متوازنة فمهما كانَ الشد على كلٍ من هذه الخيطان التي تحمل الثقل يكون الشد نفسهُ على الخيط الذي تفعل عليهِ القوة . فاذًا ق = $\frac{1}{ع}$ × ث او ث = ع ق اي ق : ث :: ١ : ع حيث ع = عدد الخيطان على البكرات السفلى او مضاعف عدد البكرات المتحركة. واما الضغط على الوصم ب فظاهر انهُ يساوي ق + ث = ق + ع ق = ( ع + ١ ) ق

١٥٤ واذا لم يمر الخيط نفسهُ حول كل البكرات كما في (شكل ٨٩) ولكن كل بكرة لها خيط وحدها مثل س ف ي ح د ف ا ب د الخ يلتف عليها ومربوط بالحلقات ا ح س الخ فالنسبة بين ق و ف تجري على اسلوب آخر

وبيانهُ لما كان الخيط س ف ى يمر على بكرة واحدة متحركة

فحسب ما مرّ ق : الثقل المحمول بالبكرة ف :: ١ : ٢

ونسبة الثقل الذي يحملهُ ف : الثقل الذي يحملهُ د :: ١ : ٢

. . . . . د : . . ب اعني ث :: ١ : ٢

اي ان ق : ث :: ١ : ٢ × ٢ × ٢ الخ :: ١ : ٢^ع او ث = ٢^ع × ق اذ تكون ع عدد البكرات المتحركة . وفي هذا النظام من البكرات الضغط على الحلقة ا = ١/٢ ث = ١/٢ × ٢^ع × ق = ٢^(ع-١) × ق وعلى الحلقة ح = ١/٢ الضغط على ا = ١/٢ × ٢^(ع-١) × ق = ٢^(ع-٢) × ق الخ والضغط على البكرة ى = ٢ ق

شكل ٩٠



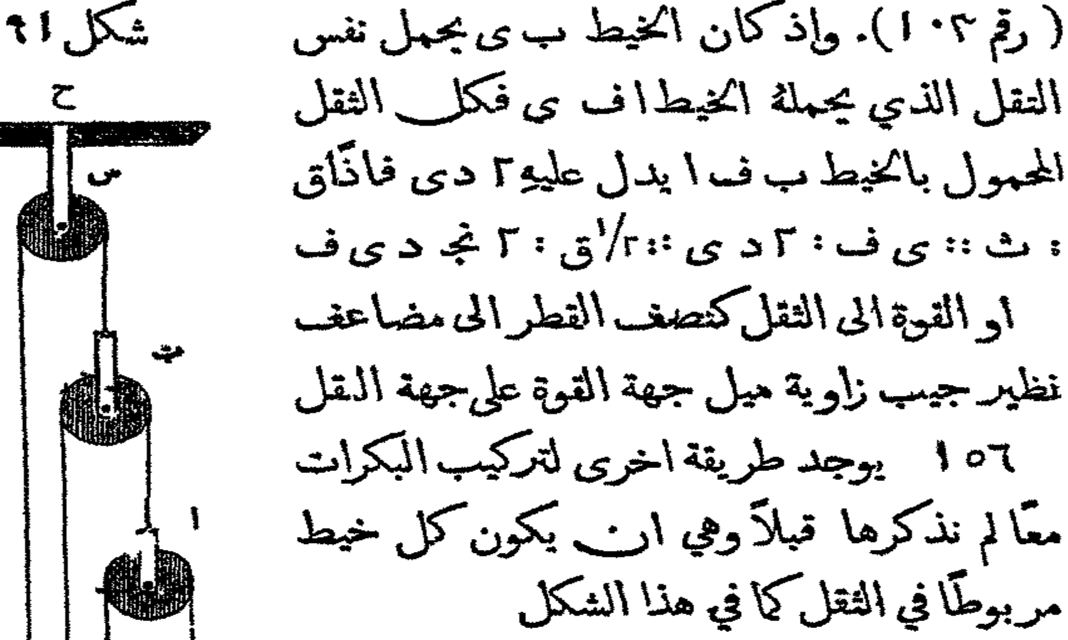
١٥٥ قد حسبنا في ما مضى الخيطان فاعلةً بحيث يوازي احدها للآخر . ولكن لنفرض ان القوة ق كما في (شكل ٩٠)

تفعل با لثقل ث بخيط يمر حول البكرة المتحركة د على جهة منحرفة. ارسم د ف عموديًا على د ى اذ يكون د مركز البكرة واخرج الخيط ا ف الى ى. لتدل ف ى على مقدار القوة الفاعلة على جهة ى ف التي تحل الى ى د و د ف فخط ي د هو ذلك الجزء منها المؤثر في حمل الثقل ث (رقم ١٠٣). واذ كان الخيط ب ى يحمل نفس الثقل الذي يحمله الخيط ا ف ى فكل الثقل المحمول بالخيط ب ف ا يدل عليه ٢ د ى فاذًا ق : ث :: ى ف : ٢ د ى :: ٢/١ ق : ٢ نجـ د ى ف

او القوة الى الثقل كنصف القطر الى مضاعف نظير جيب زاوية ميل جهة القوة على جهة الثقل

١٥٦ يوجد طريقة اخرى لتركيب البكرات معًا لم نذكرها قبلاً وهي ان يكون كل خيط مربوطًا في الثقل كما في هذا الشكل

شكل ٩١




فلنفرض انهُ يوجد في هذه الحال موازنة والقوة تفعل على خيط يمر على البكرة ا فالحالة هذه الامر واضح ان الضغط على تلك البكرة = ٢ ق اي ان الخيط ب ا يحمل جزءًا من الثقل = ٢ ق ولذات هذا السبب اذ كان الخيط ف ب ا يتحرك بسهولة على البكرة ب فالخيط س ب يحمل ٤ ق الخ

فاذًا اقسام الثقل التي تحملها الخيطان ا غ ب ف س ى الخ هي ق و ٢ ق و ٤ ق الخ وبالنتيجة يكون ث = ق + ٢ق + ٤ق = $(٢^{ع} - ١) \times$ ق اذ تكون ع عدد الخيطان المربوطة في الثقل

فاذًا ق : ث :: ١ : $٢^{ع} - ١$

ثم ان الضغط على نقطة التعليق ج — ق + ث — ق + ( $٢^{ع}$ — ١ ) ق — $٢^{ع}$ ق

تنبيه . يجب الالتفات الى ثقل الحبل في الدولاب والى ثقل البكرات والحبال في البكرات والا يحصل خلل في الحساب يجعل ارتباكاً وتشكيكاً في القواعد المتقدمة ولا تخفى طريقة ذلك على الفطن

## مسائل في البكرة

س١ جسم ثقلهُ ٥٦ رطلاً وازنتهُ قوةٌ — ٧ ارطال بواسطة نظام بكرات فيها يلتف على كل بكرة خيط (شكل ٨٩) فما هو عدد البكرات المتحركة

ج حسب ما مر ق (٧) : ث (٥٦) :: ١ : $٢^{ع}$ وث — $٢^{ع}$ × ق

وبالتعويض ٥٦ — $٢^{ع}$ × ٧ وبالقسمة ٨ — $٢^{ع}$

وبالانساب ن٨ — ن ٢ × ع و $\frac{ن٨}{ن٢}$ — ع — ٣ اي عدة البكرات — ٣

س٢ اية قوة يقتضي ان تحمل ثقلاً مقداره ٨٧ رطلاً ٣٢ قنطار في نظام من عشر بكرات مصنوع حسب الشكل الاخير حيث كل الخيطان مربوطة في الثقل ج ٣ ١/٢

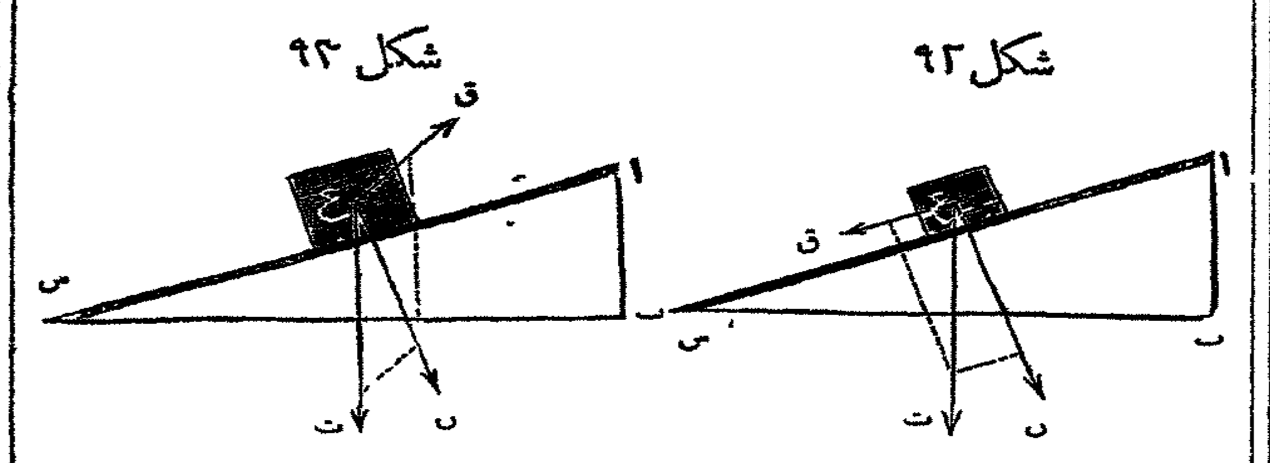
# الفصل الرابع

## في السطح المائل

١٥٧ قد تكلمنا قليلاً عن السطح المائل في بداية ايضاح

الرقاص والان نشرح عنهُ باكثر تفصيل فنقول

السطح المائل هو سطح مستطيل مائل على سطح الافق وزاوية ميلهِ عليهِ اقل من قائمة . ويفرض لهُ طولٌ وهو الخط المستقيم في سطحهِ الموصل بين حدهِ الاسفل والاعلى عموديًّا عليها وعلوٌ وهو الخط المرسوم من طرف طولهِ الاعلى عموديا على سطح




الافق وقاعدة وهي الخط الموازي لسطح الافق الموصل بين طرف طولهِ الاسفل وعلوهِ . وفائدتهُ انهُ يحل جاذبية الاجسام او ثقلها الى مركبتين فيقتضي لجرها عليه الى اعلى قوةً تقاوم احدهما فقط عوض ان تقاوم كل الجاذبية او الثقل لرفعها بدونهِ

ليدل ث على ثقل الجسم ع على السطح المائل ا س ( شكل ٩٢ ) . حلهُ الى ف متوازية للسطح ون عمودية عليهِ فالقوة ن تدل على ضغط الجسم على السطح الذي يساوي ر د فعلهِ ( رقم ١٠٤ ) وق القوة التي بها ينحدر على السطح

افرض ت = الزاوية س ميل السطح فاذاً هـ ع ن = جت . ثم ق = ث × جـ ت و ن = ث × نجـ ت

افرض ق قوة يجذب بها الجسم عند ع (شكل ٩٣) فتمسكه فيجب ان تكون ن مقاومة السطح نتيجة ث و ق ولذلك

ق : ث :: جـ ع ن ق او جـ ت : جـ ق ع ن

وان فعلت القوة على موازاة السطح تكون ق ع ن = ٩٠° ولما
ق : ث :: جـ ت : جـ ٩٠° :: ا ب : ا س
فان فعلت القوة على موازاة السطح المائل وهو الاكثر وقوعاً

فالقوة الى الثقل كعلو السطح المائل الى طولهِ

وان فعلت القوة على خطٍ يوازي قاعدة السطح تكون ق ع ن = ٩٠° — ت ونسبة ق : ث :: جـ ت : نجـ ت :: ا ب : س ب . فان كانت جهة القوة متوازيةً للقاعدة

فالقوة الى الثقل كعلو السطح المائل الى قاعدتهِ

## ١٥٨ القوة تكون اعظم فعلاً حينما تفعل متوازية للسطح

من النسبة ق : ث :: جـ ت : جـ ق ع ن نستخرج هذه المعادلة

$$ث = \frac{ق \times جـ ق ع ن}{جـ ت}$$

ولما كانت ق و جـ ت مفروضين يتغير ث بجيب ق ع ن الذي هو الاعظم ما يكون حينما ق ع ن = ٩٠° اي حينما القوة تفعل في خطٍ يوازي السطح

فان نقصت زاوية ق ع ن او زادت عن ٩٠° فجيبها ينقص . ويصير

صفرًا حينما تكون ق ع ن = ٠° او ١٨٠° وحينئذٍ ث = ٠ او لا يُرفع ثقلٌ اذا فعلت القوة في خط ع ن عمودية على السطح

١٥٩ عبارة للضغط العمودي على السطح . من المثلث ق ع ن ينتج لنا

ن : ث :: جا ع ق ن : جا ق ع ن

او ن : ث :: جا ق غ ث : جا ق ع ن

اي ن = ث $\frac{\text{جا ق ع ت}}{\text{جا ق ع ن}}$

فان فعلت القوة في خط متوازٍ للسطح المائل فالزاوية ق ع ث = ٩٠° + ت وق غ ن = ٩٠° و ن = ث $\frac{\text{جا (٩٠° + ت)}}{\text{جا ٩٠°}}$ = ث × جتا ت

وان فعلت القوة في خط يوازي قاعدة السطح المائل فزاوية ق غ ث = ٩٠° وق ع ن = ٩٠° − ت و ن = ث $\frac{١}{\text{جتا ت}}$ = ث × قا ت

وان فعلت القوة في خط عمودي على السطح المائل فزاوية ق ع ث = ت وق ع ن = ٠ و ن = ث $\frac{\text{جا ت}}{٠}$ = ∞

١٦٠ اذا توازن جسمان على سطحين مائلين بواسطة مرسة مارة فوق الحد بينهما يكون نسبة اصغرهما : اكبرهما :: طول سطح الجسم الاصغر : طول سطح الاكبر

ليتوازن ق و ث على السطحين ا د و ا س ( شكل ٩٤ ) اللذين لهما العلو المشترك ا ب بواسطة مرسة تمرّ على البكرة الثابتة ا . فقوة المرسة هي القوة المشتركة التي تمنع كلًّا من الجسمين عن الانحدار

شكل ٩٤

ولما كانت المرسة متوازية لكلٍ من السطحين فاذا فرضنا قَ = تلك القوة يكون

قَ : ق :: اب : اد

و قَ : ث :: اب : اس

اي ق : ث :: اد : اس

اي ان الثقلين في حالة الموازنة احدهما الى الاخر كطول السطح الواحد الى طول السطح الاخر بالاستقامة

## مسائل في السطح المائل

س١ اذا قدر فرس ان يرفع جسمًا وزنهُ ٨٨ رطلاً على جهةٍ عامودية فاي وزنٍ يمكنهُ ان يرفعهُ على طريق حديد ميلهُ خمس درجات على سطح الافق ح ١٠٩٢٧ رطلاً

س٢ علو طريق حديد على سطح الافق عشرين قدمًا في كل ميل فاية قوة يقتضي ان تهدّي جسمًا مفروضًا عليهِ ج رطل لكل ٢٦٤ رطلاً

س٣ قوة تهدي ٥٠٠ قنطار على سطح ميلهُ ٣٠ َ ٧° ولكنها تهدي ٤٠٠ قنطار على سطحٍ اخر فكم يكون ميل السطح الثاني

ج ٣٥ ً ٣٣ َ ٩°

س٤ قوة عشرة ارطال فاعلة على موازاة السطح تحمل وزنًا يقتضي قوة اثني عشر رطلاً فاعلة على موازة القاعدة لكي تحملهُ فما هو وزن الجسم وما هو ميل السطح ج ث ـــ ١٨٠٠٩ رطلاً ت ـــ ٣٥ ً ٣٣ َ ٣٣°

س٥ فعلت قوة ميلها على سطح الافق ٧٥° فرفعت ٥٠٠ رطلاً على سطحٍ ميلهُ ٥٠° على سطح الافق فما هو مقدار هذه القوة وكبش الجسم على السطح

ج ق ـــ ٤٢٣٢٦ رطلاً ق ـــ ١٤٢٢٨ رطلاً

# الفصل الخامس

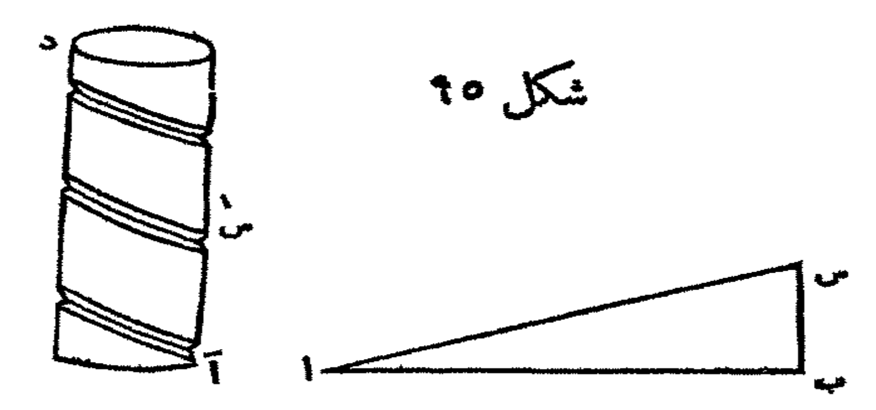
## في البرغي

١٦١ البرغي هو خيط او حفر لولبي يلتف حول اسطوانة يقطع كل الخطوط على سطحها المتوازية لمحورها ويجعل معها زاوية واحدة . والخيط اللولبي قد يصنع على السطح المحدَّب لاسطوانة برغي وقد يكون على المقعر اذا كانت مجوفة لكي يدخل فيها البرغي المذكور وتدخل خيطانهُ بين خيطانها . وبحسب ذلك يقال للاول البرغي الخارج وللثاني البرغي الداخل او الذكر والانثى . وفعل البرغي قد يكون برفع ثقلٍ وقد يكون بما يشبههُ كالكبس بالمكابس والملازم فيحسب الكبس ثقلاً

١٦٢ خيطان برغي تحسب سطحًا مائلاً والبعد بين خيطين متواليين منهُ علو ذلك السطح ومحيط اسطوانة البرغي قاعدتهُ

مثالهُ ليلتف السطح المائل ا ب س ( شكل ٩٥ ) حول الاسطوانةِ د آ التي محيطها يساوي قاعدتهُ ا ب فالنقطة ب تدور الى النقطة آ وتقع نقطة س على سَ والخط ا س يتتبَّع خيط البرغي على سطح الاسطوانة الى سَ ملتقاهُ بخط آ سَ الموازي محور الاسطوانة . وهكذا يمكن ان يلتف سطح آخر مثلهُ فوقهُ

وهلمّ جرًّا . ولما كان الشد على البرغي على جهةٍ توازي القاعدة عند فتلهِ




فاذا كبس ثقلٌ في اسفلهِ على الخيطان فالقوة اللازمة لحصول الموازنة فيهِ هي مثل القوة المتوازية لقاعدة السطح المائل التي يقتضيها لذلك . لتكن ر نصف قطر الاسطوانة دآ وم=٣٫١٤١٥٩ فيكون محيطها ٢م ر . ولتكن ع البعد بين الخيطان اي البعد من اي نقطة كانت من دورةٍ واحدة الى النقطة المتقابلة من الدورة الثانية الذي يوازي محور الاسطوانة فتكون ٢م ر قاعدة السطح المائل وع علوهُ . فاذًا (رقم ١٥٧)

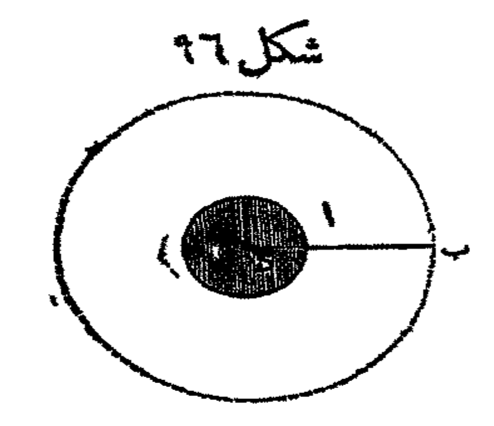
ق : ث :: ع : ٢م ر اي

القوة الى الثقل كالبعد بين خيطين مقيسًا على موازاة المحور الى محيط البرغي

١٦٣ اذا اجتمع المخل مع البرغي كما يحدث غالبًا فنسبة القوة الى الثقل كالبعد بين الخيطان مقيسًا على موازاة المحور الى المحيط الذي ترسمهُ القوة

مثالهُ ليكن ا ف (شكل ٩٦) قطع برغي وافرض ب س مخلاً من الجنس الثاني يدبرهُ . فالدارك عند س والقوة تفعل عند ب وكبس المخل

الذي يحسبه ثقلاً هو عند ا . احسب
ذلك الكبس ك وع البعد بين الخيطان




اذن ق : ك :: ا د : ب د
و ك : ث :: ع : ٢ م × ا د
وبالتركيب والحط لنا
ق : ث :: ع : ٢ م × ب د

تنبيه . البرغي نوعان برغي اليمين وبرغي اليسار . اما الاول فهو ما يلتف خيطهُ حول اسطوانتهِ صاعداً من اليسار الى اليمين واليد اليمنى تديرهُ الى جهةٍ تقابل جهة الصدر وهو الاكثر استعمالاً . واما الثاني فهو عكسهُ وهو لا يستعمل الا اذا كان موجب خصوصي لاستعمالهِ كما اذا كان برغيان في حية بخار يقتضي احدهما ان يفتح والآخر ان يسد في وقت واحد فيلزم ان يكون حينئذٍ احدهما برغي اليمين والآخر برغي اليسار . والطرف اليسار من محور دولابي عربانة يقتضي ان يكون برغي اليسار والاَّ يخشى ان يحل بفرك الدولاب عليهِ

## مسائل في البرغي

س ١ البعد بين خيطان برغي قيراط وبعد العصا الذي يدير البرغي عن المحور ذراعٌ والقوة ١٥ رطلاً فما هو الثقل والكبس

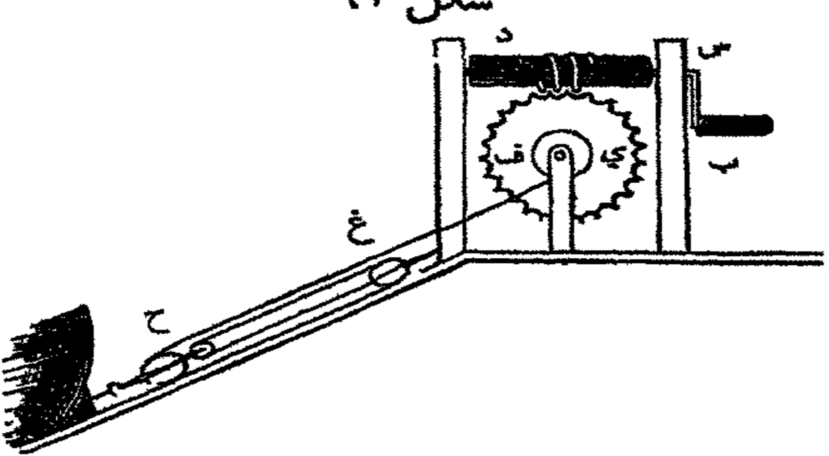
ج ٢٣٦١،٩٤

س ٢ طول عصا المخل الذي يدار بهِ البرغي ٢ اذرع محسوباً من المحور وق = ٦٠ رطلاً وث = ٢٣٤٠ رطلاً فما هو البعد بين الخيطان

ج ١٣،١١٧ قيراط

س٣ اذا اريد رفع سفينة الى البرّ بآلة مركبة من المخل واللولب والدولاب والمحور والبكرة والسطح المائل (شكل ٩٧) ومفروض ب س = ١٨ عقدة

شكل ٩٧




والبعد بين خيطين على س د = عقدة ونصف قطر الدولاب = قدمين ونصف قطر الاسطوانة ى ف = ٦ عقد وغ بكرة ثابتة وح متحركة وميل السطح = ٣٠°. فان فعل رجل بقوة تساوي ١٠٠ رطل فكم تكون القوة الفاعلة في السفينة ج ٢٦١٩١١٢١٦٨ رطلاً

# الفصل السادس

## في السفين

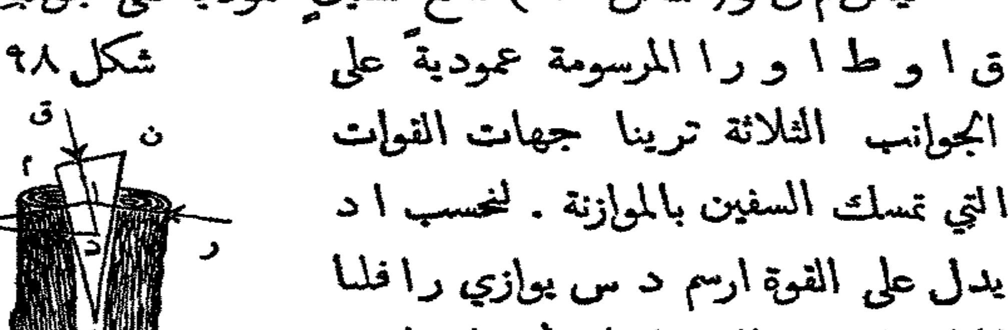
١٦٤ السفين هو موشور مثلث جانبان من جوانبهِ يلتقيان عند زاوية حادة جدًّا. وهو يستعمل لرفع ثقل كسطح مائل بادخالهِ من تحتهِ ودفعهِ بالضرب عليهِ او لتفريق جزئي جسمٍ بادخالهِ

بينهما وتنزيله بالضرب عليهِ. وكل ضربة هي قوة تجعل كبسًا جسيمًا لوقت قصير كافيًا ان يغلب مقاومة عظيمة

١٦٥ تحصل الموازنة في السفين متى كانت القوة الى المقاومة على احد الجانبين كنسبة ظهر السفين الى ذلك الجانب

اذا لم تكن جهة الضربة او القوة عمودية على ظهر السفين يجوز ان نفرضها انحلت الى قوتين احداهما عمودية على ظهر السفين والاخرى متوازية لهُ. اما الاخيرة فلا فعل لها . وذلك يقال في المقاومة على الجانبين فعلى كل جانب يلزمنا ان نعتبر احدى المركبتين فقط وهي العمودية على ذلك الجانب من السفين

ليكن م ن و ( شكل ٩٨ ) قطع سفينٍ عموديًّا على جوانبهِ فالخطوط ق ا و ط ا و ر ا المرسومة عموديةً على الجوانب الثلاثة ترينا جهات القوات التي تمسك السفين بالموازنة . لنحسب ا د يدل على القوة ارسم د س يوازي ر ا فلنا المثلث ا د س الذي اضلاعهُ تدل على هذه القوات. ولكن ا د س يشبه م ن و لكون اضلاع الواحد عمودية على اضلاع الآخر . فاذا حسبنا القوات ق ط ر تكون النسبة هكذا




ق : ط :: م ن : م و

و ق : ر :: م ن : ن و

اي القوة الى احدى المقاومتين على الجانبين كعرض ظهر السفين الى طول جانب تلك المقاومة

فان كان المثلث متساوي الساقين فالمقاومتان متساويتان كما يلاحظ من النسبة والقوة الى احدى المقاومتين كعرض الظهر الى طول الجانب

وان مس السطحان المقاومان جانبي السفين كلٌّ في نقطة واحدة فقط فاذا رُسم ط ا ور ا في نقطتي المماسة فلا بد ان يلاقيا ا ق في نقطة واحدة (رقم ٨٢) والّا يدور السفين حتى يستقر وجهٌ منهُ على الجسم المقاومه في نقطتين او اكثر

تنبيه . غالبًا تزداد فاعلية السفين باتحاد فعلهِ مع فعل المخل اذ كان المكان الذي يوثر عندهُ السفين على بعدٍ عن النقطة التي يُرسَل اليها الفعل

## خاتمة

## كلام عمومي في الميكانيكيات

١٦٦ قد سبقت الاشارة في الكلام على الميكانيكيات ان انواعها الستة عند الحصر ترجع الى نوعين وهما المخل والسطح المائل . اما الدولاب فواضح مما تقدم ان نصف قطرهِ كالذراع الاطول من المخل ونصف قطر الجذع كالذراع الاقصر والنقطة بينهما عند المحور اذا جعلناهما على استقامة واحدة هي كناية عن الدارك . واما البكرات فمن نظرٍ قليل يُظهر جليًا ان نصف قطر البكرة التي تلي الثقل منها كناية عن الذراع الاقصر الذي

يلي الثقل في المخل وانصاف اقطار باقي البكرات مجموعها كناية عن الذراع الاطول الذي يلي القوة. واما البرغي فليس هو الأَّ سطحًا مائلاً كما رايت واما السفين فيرجع الى السطح المائل لان جانباه سطحان مائلان والكبس عليهما كناية عن ثقلين والضربة على ظهرهِ كناية عن قوة مشتركة للسطحين . فينتج من ذلك صحة ما قيل ان الآلات الميكانيكية تنحصر جميعها في المخل والسطح المائل . غير ان السطح المائل يشبه المخل لكون طولهِ وعلوهِ يجريان مجرى ذراعي المخل وفي استعمالهِ لا بد من استعمال المخل او ما اشبههُ معهُ

١٦٧ اذا احسن الدارس اعتبارهُ في الآلات الميكانيكية فلا يخفى عليهِ انهُ لا يحصل ربح في رفعها الاثقال من حيث ان قوة قليلة ترفع ثقلاً اعظم منها لان ما يكتسب من زيادة الثقل على القوة تحصل خسارة بمقدارهِ من الوقت فقد يمكن ان يرفع رجل بقوتهِ ثقلاً بواسطة الآلات الميكانيكية تقتضي قوة مئة رجل لرفعهِ بدونها ولكن يلزمهُ من الوقت مئة مرة ما يلزم المئة رجل

مثالهُ اذا رفع رجل عند ا ثقلاً عند ب كما في ( شكل ٩٩ ) وكان الدارك د حتى يصل الطرف ا الى ل والطرف ب الى ح والذراع الاطول ا د مئة مرة الذراع الاقصر د ب فيقتضي ان القوة ق تمر من ا الى ل بقوس ا ل والثقل ث من ب الى ح بقوس ب ح فنسبة ق : ث :: ب د : د ا وانما

لكون القطاع ح د ب يشبه القطاع ا د ل فنسبة ب د : د ا :: ب ح : ا ل فاذًا القوة الى الثقل كنسبة قوس ب ح الى القوس ا ل اي بمقدار ما يزيد الثقل على القوة تزيد الفسحة التي تمر بها القوة

شكل ٩٩



على الفسحة التي يمر بها الثقل وبالنتيجة يلزم القوة زيادة وقت عما اذا كانت مساوية للثقل بمقدار زيادة الثقل عليها. وهكذا الامر في السطح المائل لانهُ واضح من نسبتهِ فيما مر انهُ اذا كانت القوة اقل من الثقل فلكي تسحبهُ على سطحٍ مائل تقتضي وقتًا اطول من وقت قوةٍ تساويهِ تسحبهُ على جهة الجاذبية كما ان طول السطح الذي هو وتر مثلث ذي قائمة اطول من علوهِ وهكذا يقال في بقية الآلات . فاذًا لا يحصل مثقال ذرّةٍ ربحًا بواسطة الآلات الميكانيكية لان الربح بتقليل القوة تساويهِ الخسارة بزيادة الوقت بل ان الخسارة تكون اكثر لانهُ يضاف الى الثقل عوضًا عن فرك الآلة الذي يعيق في رفعهِ مقدار يبلغ غالبًا نحو ثلث القوة . غير ان فائدة هذه الآلات انهُ بواسطتها يمكننا التصرُّف بحسب المناسبة باستعمالها او عدم استعمالها لان رجلاً واحدًا عوضًا ان يدعو تسعة وتسعين رجلاً لاعانتهِ في رفع ثقلٍ كما في المثال السابق قد يقصد اتمامهُ بنفسهِ ولو اقتضى الحال وقتًا اطول اما لكونهِ يريد ان يشتغل بنفسهِ في كل الوقت او لكونهِ لا يقدر ان يحصل فعلة كافية او لكون كثرة الفعلة غير مناسبة للعمل وغير ذلك . وقد يقصد خلاف ذلك لاسبابٍ تقتضيهِ

١٦٨ ان اعضاء الجسم الانساني الذي هو سبب الحركات والصنائع والاعمال قد صنع الباري اغلبها امخالاً من النوع الثاني كالذراع مثلاً فان عظمتيهِ هما المخل والعضلات القوابض التي

تندغم بهما هي القوة لانها عند انقباضها ترفع الذراع. والدارك هو السطح المفصلي على الطرف السفلي للعضد والثقل هو اليد وما يحمل بها او هي فقط وهكذا يقال في بقية اعضاء الجسد. والبنّاء والنجار والحداد وغيرهم يحتاجون في كل اشغالهم الى استعمال المخل. والذي يرفع سلمًا او يفتح بابًا يفعل ذلك على مبدا المخل. والخياط الذي يشك الابرة والشخص الذي يدق وتدًا في الارض او في حائط والذي يشقق حطبًا يفعلون ذلك على مبدا السفين. والجمّال الذي يدحرج الحجر الى ظهر جمله على عارضتين من خشب متصلتين من الارض الى كور الجمل يستعمل السطح المائل لاجل تسهيل رفع الثقل. وفي الكراخين وبعض الصنائع لا بد من الدواليب والبكرات والامخال والبراغي التي تستعمل للكبس او لرفع الاثقال وهلمّ جرًّا

فنرى ان جميع الاعمال والحركات الانسانية متوقفة على المخل او على ما يشبهُ من الآلات الميكانيكية

# الباب الرابع

## في السائلات وفيهِ فصلان

## الفصل الاول

### في الماء الراكد او الهيدروستاتك

١٦٩ السائل مادة تتحرك دقائقها بسهولة بعضها بين بعض فتوثر فيهِ ادنى قوة تفعل بهِ واذا زالت القوة يرجع الى حالتهِ السابقة

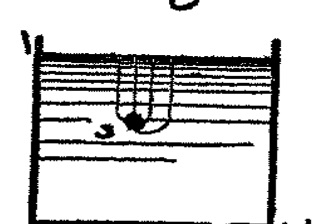
والسائل يقسم الى قسمين مرن وهو ما ينضغط كالهواء والبخار وغير مرن وهو ما لا ينضغط الا قليلاً جدًّا كالماء والزيوت. ويقسم السائل غير المرن الى قسمين راكدٍ ومتحركٍ. فعلم السائلات الراكدة يعرف بالهيدروستاتك وهو لفظ يوناني معناهُ الماء الراكد وفيهِ بحثنا الان. وعلم السائلات المتحركة يعرف بالهيدرولك وسياتي الكلام عليهِ عقيب هذا الفصل

١٧٠ السائلات في حال الركود او السكون تنضغط كل

دقيقة فيها من كل الجهات على التساوي . وذلك الضغط يساوي ثقل عمودٍ منها سعتهُ سعةُ الدقيقة وعلوهُ عمقها عن وجه الماء

لنفرض ا ب ( شكل ١٠٠ ) وعاء فيهِ ماء و د نقطة صغيرة جدًّا فيهِ . فيظهر من الشكل ان العمود الضاغط على اعلى النقطة الى اسفل يضادهُ كبس عمودٍ من اسفل الى فوق . والضاغط من اليمين الى اليسار يقابلهُ عمود يضغط مثلهُ ويوازنهُ من الجهة المتقابلة الى اليمين . وهكذا لكل عمود يضغط على النقطة د عمود يقابلهُ من الجهة المتقابلة ويوازنهُ ولولا ذلك لدامت دقائق السيال مضطربة . ولكون د صغيرة الى غير نهاية يكون طول كلٍّ من هذه العواميد البعد بين د و وجه الماء

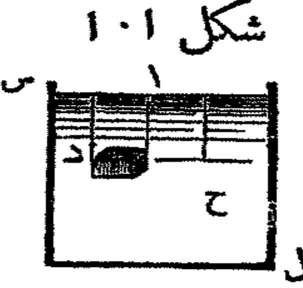
شكل ١٠٠




١٧١ قد تقدم الكلام في الثقل النوعي ( رقم ٣٩ ) ان الجسم اذا وزن خارج الماء ثم وزن داخل الماء فالفرق بين الوزنين يساوي ثقل مقدارٍ من الماء مساوٍ للجسم المذكور وعلى ذلك بنيت قاعدة الثقل النوعي ولم نذكر لهُ برهانًا والان لنوضح ذلك ببرهان هندسي

لنفرض س ل وعاء مملوًّا ماء والجسم د غرقان فيهِ والعمود ا د يضغط فوقهُ والعمود ا ح الذي قاعدتهُ تساوي قاعدة الجسم يضغط من اسفل الجسم الى اعلى فالضغط على الجسم د من اسفل هو بمقدار العمود ا ح ولكن الضغط على د من فوقهِ هو بمقدار

شكل ١٠١



عمود ا د . وإنما الامر ظاهر ان الفرق بين ا ح وا د يساوي مقدار الجسم فالضغط عليهِ من فوق اقل من الضغط عليهِ من اسفل بمقدار ثقل جرم من الماء مساوٍ لجرم الجسم فيخف بمقدار ذلك . وهذا الامر قد بينهُ ارخميدس الفيلسوف اليوناني بمثل هذا الاسلوب

بيان ما تقدم انهُ اذا ارتفع العمود ا د من فوق الجسم د بحيلةٍ اذ يكون في وسط الماء يبقى عليهِ الضغط من اسفل فقط بمقدار ثقل عمود ا ح فيخف ثقلهُ النوعي جدًّا حتى اذا وازن العمود ا ح يعوم في الماء واذا كان اخف منهُ يطلب الصعود واذا كان اثقل يغلبهُ وينزل بقوةٍ تساوي مقدار الفرق بين ثقلهِ وثقل العمود ا ح . واذا كان الجسم عميقًا في الماء فلا يغلب على العمود ا ح لوفر ثقلهِ

١٧٢ وعلى ذلك قد صنع تجربة توضح ما قيل . لنفرض س د وعاء مملوءًا ماء وق قابلة من زجاج مفتوحة من الطرفين . وج جسمًا ثقلهُ النوعي اكثر من واحد اي هو اثقل من الماء لهُ سطح املس تنطبق قاعدة القابلة عليهِ . فاذا وضعت عليهِ القابلة وغطس معها في الماء لا يغرق بل يتبع القابلة في صعودها ونزولها . ولا يخفى انهُ كلما تعمق في الماء يزيد الضغط عليهِ من اسفلهِ اذ يكون العمود اطول فاذا صبَّ في القابلة ماء حتى تمتلئ او رُفع الجسم ج براس قضيب عن جنب لكي يصير فرصة ليدخل عمود ماء ويملأ القابلة ق يهبط عن القابلة الى اسفل الوعا اذ يرجع ثقلهُ النوعي اعظم . ثم من حيث ان الضغط متساوٍ من كل الجهات في الماء كما مر فعلى ذلك نقول انهُ لو كانت القابلة ق من صمغ هندي لبان ضغط الماء على سطحها بانضمام جوانبها الى بعضها

شكل ١٠٣

١٧٢ سطح الماء المحصور في وعاء او في اينٍ ما يقتضي ان يكون موازيًا لسطح الارض المحدَّب وذلك ناتج من سهولة حركة دقائقهِ بعضها على بعض وفعل الجاذبية لنحو المركز. فاذا ارتفع عمود من فوق سطحهِ يهبط الجزء المرتفع منهُ بواسطة الجاذبية ويتفرق على كل وجههِ حتى يصير موازيًا لسطح الارض كما ان المياه التي تكون على السطح المائل تجري عليهِ الى اسفل بعلة الجاذبية ولا تقف حتى تتجمع ويصير سطحها موازيًا لسطح الارض وذلك لكون الجاذبية في جسمٍ من شانها ان تحولهُ الى هيئة كرة اذا كانت مادتهُ سيَّالة كما مر (رقم ٣٥) ولكن بما ان التحديب في فسحة صغيرة قليلٌ جدًّا فلا يلتفت اليهِ ويحسب سطح الماء موازيًا لسطح الافق الذي يوازي السطح المماس لنقطتهِ الوسطى . وانما على بعد عظيم يعتد بتحديبهِ ويهبط الماء عن السطح المماس لنقطتهِ الوسطى وقد حسبوا هبوطهُ لكل بعدٍ بموجب هذه القاعدة وهي

خذ ثلثي مربع البعد المفروض من الاميال فتعرف علو التحديب عن السطح المماس للنقطة الوسطى

لنفرض ف ي في (شكل ١٠٣) هبوط الماء على بعد ب ي . ولا بعادٍ معتدلة يجوز ان يحسب قوس ب ى مساويًا لوترهِ اذ كان الفرق بينهما شيءٌ لا يذكر فحسب (اقليدس ق ٨ ك ٦) غ ب او ى ف : ى ب :: ى ب : ا ب فلنفرض غ ب الهبوط = ه و ب ى البعد = ب تكون نسبة ه : ب :: ب :

اب اي ه = $\frac{ب^{٢}}{اب}$ ومن حيث ان اب اي قطر الارض محسوبًا اميالًا وبالضرورة ب الذي هو ب اميالًا ايضًا فبتحويلها الى اقدام تصير العبارة ه = $\frac{ب^{٢} \times ٥٢٨٠^{٢}}{٧٩١٢ \times ٥٢٨٠} = \frac{ب^{٢} \times ٥٢٨٠}{٧٩١٢} = \frac{٢ب^{٢}}{٣}$ تقريبًا

شكل ١٠٣

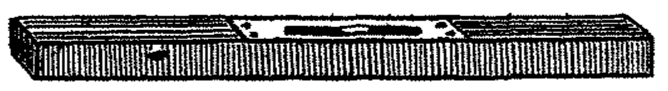
اذًا الهبوط لميلٍ = $\frac{٢ \times ١}{٣} = \frac{٢}{٣}$ قدم و٣ اميال = $\frac{٢ \times ٣^{٢}}{٣}$ = ٦ اقدام

٢ = $\frac{٢ \times ٢^{٢}}{٣} = \frac{٨}{٣}$ = ٢ $\frac{٢}{٣}$ قدم و ١٠٠ ميل = $\frac{٢ \times ١٠٠^{٢}}{٣}$ = ٦٦٦٦ $\frac{٢}{٣}$ قدم

١٧٤ على هذا المبدا المذكور قد صنع الفادن المائي او الزيبقي. فقد يصنع احيانًا بحفر قناة رفيعة في قطعةٍ من لوحٍ مستوٍ وملئها ماء او زيبقًا. فاذا وضعت هذه الآلة على سطحٍ واستوى الماء عليها يقال ان ذلك السطح مستوٍ. ولكن الاكثر استعمالًا لهذه الغاية فادن العرق. وهذه الالة مولفة من انبوبة اسطوانية صغيرة محنية من زجاج طولها من عقدتين الى ست مملوة عرقًا او كحولًا الا فسحة صغيرة مملوة هواء

فاذا وضعت هذه الانبوبة (شكل ١٠٤) على موازاة سطح الافق فذلك

شكل ١٠٤

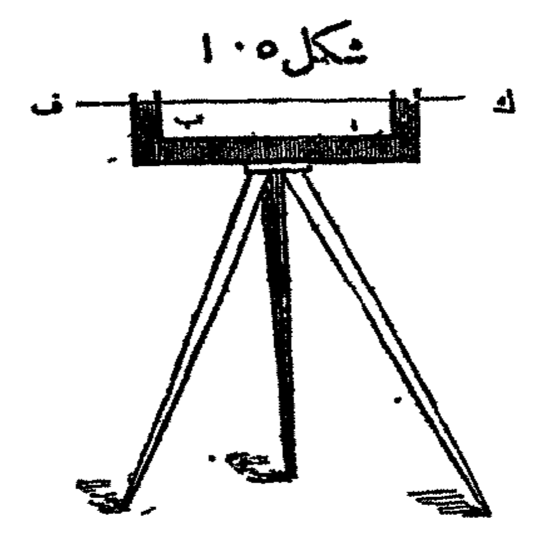


الهواء المتحرك يستقر في مركز الانبوبة عند علامة مفروضة عليها. ولكن عند

ما تميل الانبوبة ولو مقدار شعرة يصعد الهواء نحو الطرف المرفوع . وهذه الآلة مستعملة كثيرًا لمساواة آلات فلكية ومساحية وغيرها من الآلات التي تقتضي التدقيق في وضعها

ثم ان هذا الشكل يدل على فادن له سيبة قرصها مستوٍ فوقها انبوبة زجاج والسائل على جانبي الانبوبة ا و ب لما كان يمر به سطح افقي فاذا كان شيئان مثل ف و ك وكان ف على استقامة ا ب اذا نظر اليهِ من ا وك على استقامة ب اذا نظر اليهِ من ب فهما على سطح متوازٍ لسطح الافق مثل ا و ب . وهذا الفادن كثير الاستعمال في مساحة الاراضي

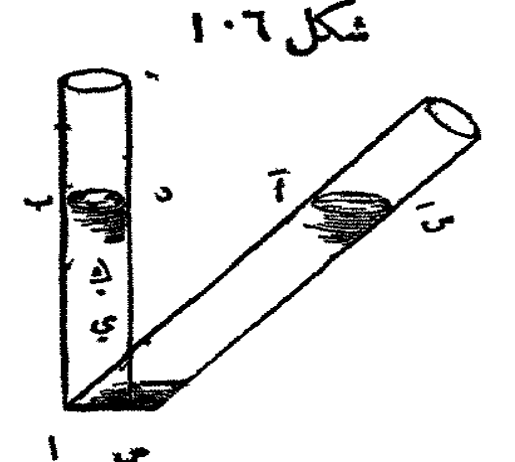
شكل ١٠٥



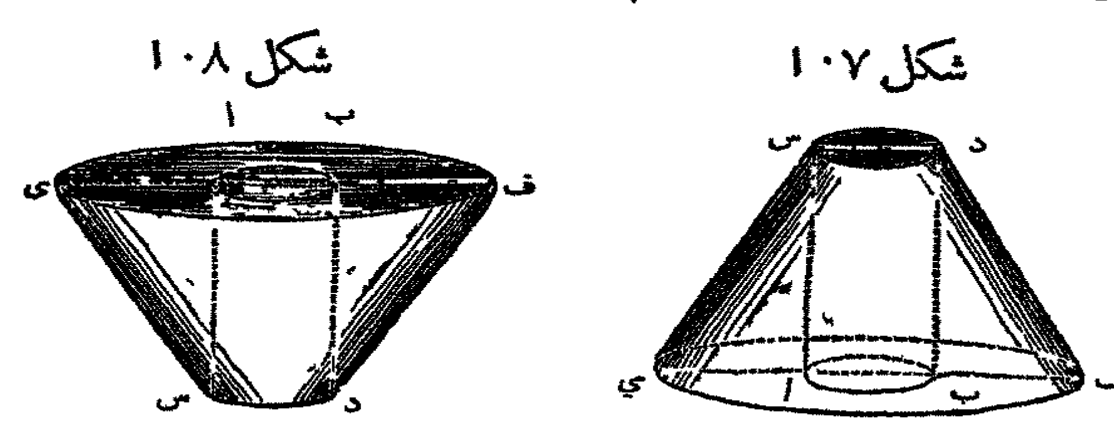

## ١٧٥ الضغط على اي دقيقة كانت من سائل ذي كثافة واحدة هو كعمقها تحت وجه السائل

ليكن اب س د كما في ( شكل ١٠٦ ) عمودًا من سائل عموديا على سطح الافق خذ اي نقطتين شئت مثل ك وي على عمقين مختلفين. وليوهم العمود انهُ انقسم الى عدة اجزاء متساوية بسطوح افقيَّة . ثم لكون كثافة السيال واحدة في جميع اجزائهِ فيجب بالضرورة ان يكون الضغط على ك و ي من كل الجهات كما مر بالنسبة الى عدد الاجزاء المتساوية فوق كل منها وبالنتيجة الى عمقها تحت وجه السائل

شكل ١٠٦



ثم لنفرض العمود ا سَ على علو ب س ولكنهٔ مائل كما في (شكل ١٠٧) فحجمهٔ وبالنتيجة ثقالهٔ ايضًا يزداد بنسبة ازدياد طولهِ على علوهِ . وانما اذ كان العمود المذكور بحمالهٔ السطح المائل س سَ فقوة الجاذبية الفاعلة عليهِ المسببة الضغط تنقص بنسبة زيادة طولهِ على علوهِ ( رقم ١٥٧ ). فاذًا بمقدار ما يزداد الضغط على القاعدة بزيادة طول العمود يتناقص بميل السطح . فالضغط على نقطة من س سَ يكون بنسبة عمقهِ العامودي ويكون ضغط العمود المائل ا سَ كضغط العامود القائم ا د




وبناء عليهِ يحكم ان الضغط في وعاء مخروطي سواء كانت قاعدتهُ اصغر من قمهِ او اكبر يكون بالنسبة الى العلو. لانهُ كما في (شكل ١٠٧ و١٠٨) يمكننا ان نتوهم عواميد مائلة على جانبي العمود ا س د ب في كل من الوعائين ى س د ف والضغط فيهما على نقطٍ على عمق واحد من وجه الماء يكون بالنسبة الى عمقها كما تقدّم

١٧٦ قد قلنا سابقًا ان الضغط على الجوانب مثل الضغط على الاسفل ( رقم ١٧٠ ) فبناء عليهِ يحسب بسهولة مبلغ الضغط على جوانب الماء لاي علوّ كان او على شطوط الانهر والاقنية وغير ذلك . فعلى عمق ثمانية اقدام يكون الضغط على قدم مربع

مساوياً لثقل عمود من الماء قاعدته قدم وعمقه ثمانية اقدام وبالنتيجة لثقل جرم ثمانية اقدام مكعبة من الماء . واذا كان قدم مكعب من الماء يساوي ٩٠٠٠ درهم عربي = ٢ وق ١١ ط فثقل العمود المذكور = ٨ × ١١ ¼ = ٩٠ رطلاً فالضغط على قدم مربع عند اعماق مختلفة يرى من الجدول الآتي

| اقدام | ضغط على قدم مربع | اقدام | ضغط على قدم مربع |
|---|---|---|---|
| ٨ | ٩٠ رطلاً | ٥٦ | ٦٣٠ رطلاً |
| ١٦ | ١٨٠ . | ٦٤ | ٧٢٠ . |
| ٢٤ | ٢٧٠ . | ٧٢ | ٨١٠ . |
| ٣٢ | ٣٦٠ . | ٨٠ | ٩٠٠ . |
| ٤٠ | ٤٥٠ . | ٨٨ | ٩٩٠ . |
| ٤٨ | ٥٤٠ . | ٩٦ | ١٠٨٠ . |
| ميل او ٥٢٨٠ قدم | ٥٩٤٠٠ رطلاً | | |
| ٥ اميال | ٢٩٧٠٠٠ . | | |

فيظهر انه على عمق ٦٤ قدماً ضغط عمود ماء عند اسفله يصير ٧٢٠ رطلاً لقدم مربع . والضغط على قعر البحر حيث يكون العمق ميلاً واحداً هو ٥٩٤٠٠ رطلاً لقدم مربع . وحيث خمسة اميال فلا يكون ذلك الضغط اقل من ٢٩٧٠٠٠ رطل . وعند التدقيق يقتضي ان تلاحظ ملوحة ماء البحر لان المياه

المالحة اثقل من العذبة . فمن هذه الاعتبارات ندرك بسهولة علة الصعوبة العظيمة لحصر عمود عالٍ من الماء ومن ذلك يرى ايضًا عظمة الضغط الفاعل على قعر البحر . قيل ان الحوت الكرينلندي ينزل احيانًا الى عمق ميل ولكن دائمًا يصعد وهو يبق الدم من فمهِ اذ يفعل الضغط على الاوعية الدموية بقوة تجعلها ان تفرغ جانبًا مما تحواه من الدم الى الرئتين ومن ثم يجري الى الفم

١٧٧ هذا الضغط العظيم في عمق المياه العميقة قد اتضح بدلائل مختلفة فقد عرف منذ زمن طويل عند البحرية انهُ اذا نُزِّلت زجاجة مربعة رقيقة في الماء بتعليق ثقل بها ينزلها تتكسر جوانبها بالضغط عليها الى داخل قبل ان تبلغ الى عمق عشر باعات . واذا نُزِّلت قنينة قوية ملآنة ماء مسدودة سدًّا محكمًا بفلينة الى عمق معلوم فاما ان تندفع الفلينة الى داخل بقوة شديدة او ان الماء المالح يخترق الفلينة او جوانب القنينة فيدخل الى داخل من مسامها الرفيعة جدًّا اذا بقيت الفلينة على وضعها. وقد امتحن الخواجه بركنس اولاً انضغاط الماء بواسطة تغطيس آلة الى عمق خمس مئة باع. اما الآلة فهي أسطوانة نحاسية فارغة تملأ ماء عند ما تنزل في الماء تشبه مدفعًا صغيرًا لها حاجزٌ مصنوعٌ

حتى يدل عند ما ترفع الآلة من الماء كم قد انضغطت الى داخل في العمق الاعظم . وهذه الامتحانات نفسها كُرِّرت فيما بعد على البرفكان الضغط على الحاجز بواسطة كبس الماء مساويًا ٢٠٠٠ عمود من الهواء

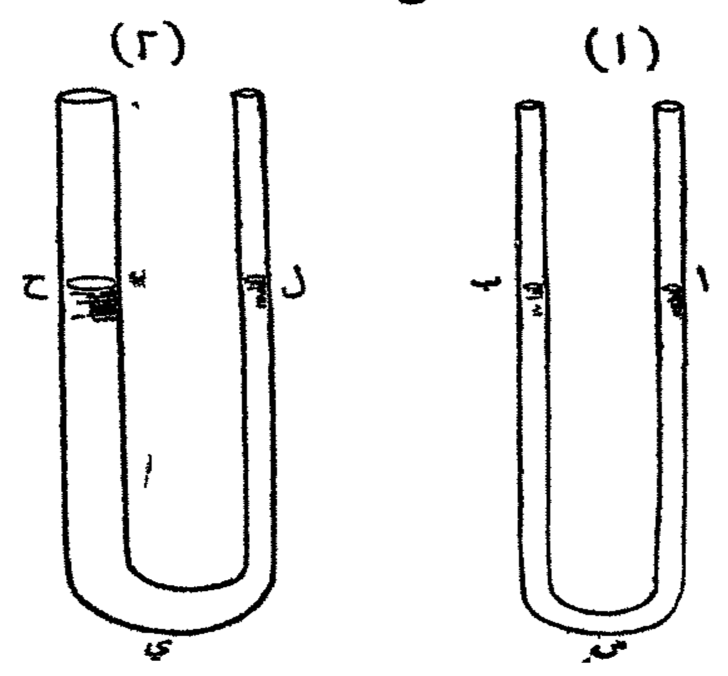
ان زيادة الضغط بزيادة عمق السائل تقتضي كون جوانب الانابيب او القصاطل التي توضع فيها السائلات اقوى كلما كانت اعمق وهذا الامر يقتضي ملاحظتهُ في اسدادِ الانهر وشواطيها وغير ذلك

انهُ عند عمق ميل واحد انضغاط الماء هو $\frac{١}{١٣٤٢}$ من حجمهِ فثقلهُ النوعي يزداد بنفس هذه النسبة حتى ان الاجسام التي تغرق قرب وجه البحر قد تعوم عند عمقٍ معلوم قبل ان تصل الى القعر. واذا كان جسم مسامي خفيفًا حتى يعوم قرب وجه الماء فقد يبقى في قعر البحر اذا نزل الى عمقٍ عميق لازدياد ثقلهِ النوعي بضغطهِ وترشُّح ماء القعر في مسامهِ

١٧٨ السائلات من نوع واحد تصعد الى علوٍّ واحد في انبوبةٍ منعكفة سواء كانت الانبوبة ذات ثخنٍ واحدٍ ام الجانب الواحد اثخن من الثاني

فعلى الاول لتكن ا س ب انبوبة زجاجية كما في الرسم الاول (شكل ١٠٩) فاذا صُبّ فيها ماء الى الحدّ ا يصعد الماء في س ب الى علو ب المساوي علو

شكل ١٠٩



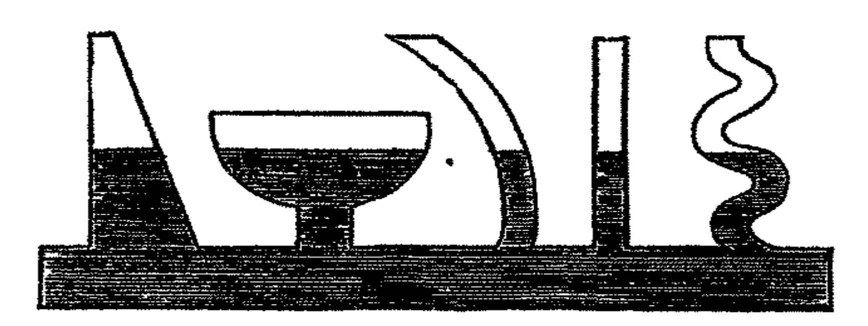

ا . وذلك لان العمود ا س يوازنهُ عمود مثلهُ مساحةً وعلوًّا

وعلى الثاني اذا صُبّ في الانبوبة ح ى ل في العمود ل ى كما ترى في الرسم الثاني مقدار من الماء علوهُ عقدة فيتفرق ذلك المقدار على ل ى ح . فاذا فرضنا مساحة دائرة ح ى ثلث مرات مساحة دائرة ل ى وصب في ل ي من الماء ما يملي منهُ عقدة يرتفع الماء في عمود ل ى مقدار ربع عقدة ويستقر في العمود ح ى ٣/٤ عقدة لكل عمود ١/٤ عقدة فيكون ارتفاع الماء في الانبوبتين واحد . ثم اذا فرض انهُ صب في ل ى مقدار من الماء يملي منهُ اربع عقد تتفرق الاربع عقد على العواميد الاربعة وكل منها يرتفع عقدة . وذلك ناتج عن كون الماء تجري دقائقهُ الى كل الجهات لسهولة حركتها ولا يرتفع في الاكبر عمودٌ واحد منهُ فقط يماثل الاصغر بل يرتفع في كل الاكبر

١٧٩ ينتج انهُ اذا كانت الاوعية والانابيب مختلفة في الهيئة

والسعة (شكل ١١٠) واتصلت بحوض محصور وصب في اي واحدة منها ماءٌ يرتفع الى علو واحد فيها جميعها . ولذلك المياه التي تنحصر في قصاطل او تجري في قنوات طبيعية تحت الارض ترتفع بمقدار هبوط اصلها . وذلك علة لكون بعض الينابيع تفوِّر الى اعلى وعلة ارتفاع عمود من الماء في النوفرة الصناعية الى فوق وجه الارض . والمياه التي تجلب في قصاطل من مكان بعيد قد يكون بينها وبين

شكل ١١٠

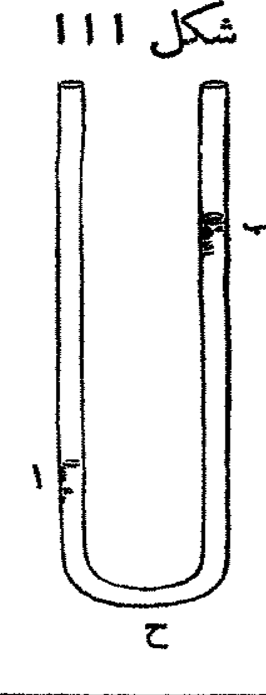


البلدة التي تجلب اليها جبال ووديان والقصاطل تصعد وتنزل في الجبال والوديان . والماءُ اذا كان محصورًا فيها يرتفع في تلك البلدة الى علو اصلها . فاذا كان الينبوع منخفضًا عن المكان الذي يقصد جلب مائهِ اليهِ بقصاطل فلا يمكن اجتلابهُ وكذلك لا يجري الماء اذا كانت بعض القصاطل اعلى من الينبوع الاصلي

ان القنوات التي اصطنعها الرومانيون قديمًا هي من اعجب واغرب اطلال صنائعهم . فعدةٌ منها طولها من ثلاثين الى مئة ميل ومركبة من

قنوات مبنية من حجارة وكانت تمر في الوديان على قناطر عالية جدًّا ومتينة كقناطر زبيدة الكائنة فوق نهر بيروت واحيانًا تخرق لها الجبال على بعد شاسع كالسرداب الموجود ايضًا عند قناطر زبيدة . ومن كون القدماء بنوا قنوات بتعب وافر كهذا اذ رفعوها الى علو شاهق لقطع الوديان عوضًا عن ان يجروا الماء على المبدا المذكور قدظن البعض انهم لم يكونوا يعرفون هذه الحقيقة . ولكن يظهر من ملاحظات اخر انهم كانوا يعرفونها ويفهمون فائدة القصاطل في جلب الماء ولعل مصروف القصاطل وصعوبة اصطناعها قوية حتى تكفي لمقاومة الضغط اذا وضعت على عمق اوطى من الينبوع جدًّا منعاهم عن استعمالها العمومي

١٨٠ اذا كان سائلان الثقل النوعي في احدهما مختلف عنهُ في الاخر فلا يكونان على علوٍ واحد اذا توازنا على جانبي انبوبة ملتوية وكان اسفل كل منهما عند وسط قاعدة الانبوبة بل يختلف علوهما بالقلب كاختلاف ثقلهما النوعي




لتكن ا ح ب انبوبةً ملتوية فاذا ضب في العمود ا زيبق مثلاً وصب في العمود ب ماء واستقر اسفلها في وسط قاعدة الانبوبة عند ح فنرى ارتفاع عمود الماء يكون ١٣٠٦ مرة ارتفاع الزيبق وبناء عليهِ نحكم ان الثقل النوعي للزيبق هو ١٣٠٦ . ومثل ذلك اذا انصب في العمود ب ماء وفي العمود ا زيت او عرق نرى ان علو عمود الماء ٠٩٣٢ من عمود العرق و ٠٩١٥ من عمود الزيت ومن ذلك يعرف ان الثقل النوعي للعرق ٠٩٣٢ والثقل النوعي للزيت

٢٩١٥ اذا كان الماء واحدًا . وعلى ذلك يمكن ان يصطنع آلة كهذه تفرض على جانبيها عقد واجزاء من عقد لاجل معرفة الثقل النوعي لاجناس مختلفة من السائلات . وبرهان ذلك ان العمود ا يختلف حجمهُ عن العمود ب كاختلاف علوهِ لكون قواعدهما متساوية كما يعرف ذلك من علم الهندسة . وانما الحجم اذ يتوازن العمودان يختلف بالقلب كالثقل النوعي اي متى تضاعف الحجم يتنصف الثقل النوعي ومتى صار ثلثة اضعاف ما كان يصير الثقل النوعي ثلث ما كان وهلمّ جرًّا وبالعكس وذلك امر بين . فاذًا العلو يختلف بالقلب كالثقل النوعي

١٨١ ويوجد نوع آخر من المقياس لثقل السائلات النوعي وهو ما يقال لهُ الهيدرومتر وهو الاكثر استعمالاً

شكل ١١٢

كما يدل عليهِ بهذا الشكل . وهو مؤلف من بلبوس وعنق طويل متصل بهِ . فاذا كان يغرق في الماء الى حدٍ مفروض فالامر واضح انهُ في السائلات الاخف يغرق بزيادة فيمكن ان تفرض على عنق هذه الآلة اقسام بها يعرف الثقل النوعي لاي سائل كان اذا وضعت فيهِ . ويوجد انواع اخر من الهيدرومتر لا موضع لذكرها هنا

١٨٢ الضغط على قاعدة موازية للافق من اي وعاء كان فيهِ ماء او سائل آخر من كثافة واحدة يساوي ثقل عمود من السائل يعرف بضرب القاعدة في علو الماء او السائل الآخر مهما كانت هيئة الوعاء

لنفرض وهذا مثل هذا الشكل له الانبوبة غ ض مملوة ماء الى علو غ وقاعدتهُ ا س . فالضغط عند ض ص مساويًا لثقل عمود ماء علوهُ غ ص. واذا فتح ثقبة في اي مكان كان بين

شكل ١١٣

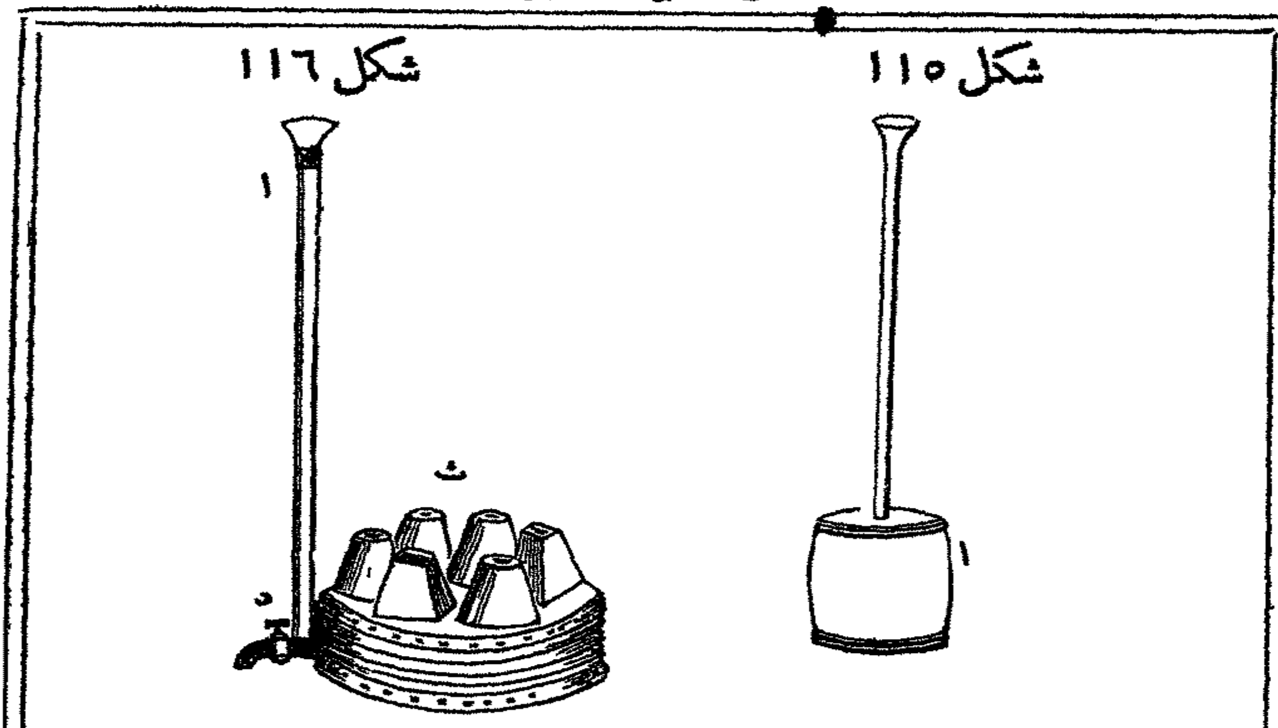


ا وض او ب وص سعتها = ض ص وإدخل فيها انبوبة اخرى مثل غ ض دخولاً محكا فالماء يرتفع الى علو غ كما مر. فاذًا الضغط في كل مكان بين ا و ب الى فوق يساويهِ عند ض ص. فينتج انهُ على كل جزء من س د الضغط الى اسفل يرد الفعل مثل الضغط تحت العمود غ ض. فمبلغ الضغط على سطح مفروض من السائل لا يعرف من مقدار الماء في الوعاء ولكن من العلو الذي يصل اليهِ الماء. واذا جعلنا اسفل الوعاء ا ب س د متسعًا جدًّا والانبوبة غ ض رفيعة جدًّا فالضغط على القاعدة قد يكون مئات او الوف من المرات اعظم من ثقل كل الماء في الوعاء لان الضغط يكون كما اذا ارتفعت الجوانب الى ى و ف وامتلأ كل الحوض ى س د ف الى علو غ . وذلك لان الضغط يتفرق الى كل الجهات لسهولة حركة دقائق الماء كما مر. كما يرى في الامتحان كما في هذا الشكل لتكن م مثانة منفوخة في وعاء مثل ا. فاذا ضغط على الماء باسطوانة عند سطحهِ كما في ( شكل ١١٤) يظهر ان الضغط المتصل الى المثانة بواسطة الماء يكون من كل الجوانب لان جدرانها عند ضغط الماء تقترب بعضها الى بعض من كل جهة اذ ينضغط الهواء داخلها

شكل ١١٤



١٧٣ اذا امتلا برميل متين مثل ا ماء وادخل فيهِ انبوبة ب س كما في (شكل ١١٥) وصبَّ فيها ماء فقد ينفزر البرميل فينفجر منهُ الماء اذا انسكب في الانبوبة مقدار قليل منهُ وذلك لعظم الثقل على اعلاه وجوانبهِ




شكل ١١٥ شكل ١١٦

ويتاكد ما قيل من منفاخ الماء ايضاً كما في ( شكل ١١٦ ) . فاذا امتلأت الانبوبة ا د ماء فالضاغط على سطح المنفاخ اي القوة التي ترفع الاثقال الموضوعة عليهِ تساوي ثقل اسطوانة من الماء التي قاعدتها سطح المنفاخ وعلوها ا د ولكون هذه الاسطوانة : اد :: مساحة سطح المنفاخ : مساحة قاعدة ا د يعرف الثقل ث على سطح المنفاخ الذي يوازن عمود الماء اد من ضرب مساحة سطح المنفاخ في ثقل العمود ا د وقسمة الحاصل على مساحة قاعدة ا د . فمساحة القاعدة في اسطوانة متصلة حاوية ماء تتغير كالثقل ولنا هنا نسبةٌ تشبه نسبة المخل . فاذا فرضنا مساحة سطح المنفاخ = م ومساحة قاعدة العمود = مَ وثقلهُ ثَ تكون نسبة ث : ثَ :: م : مَ

شكل ١١٧

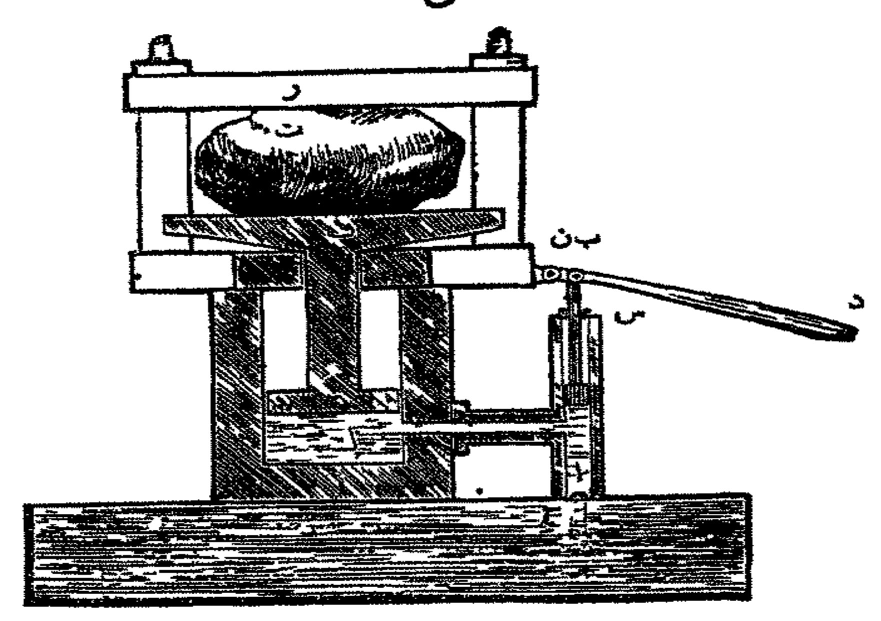
١٨٤ هذا الضغط يظهر احياناً في الطبيعة عجيباً بفلق الصخور او تشقيق الجبال او انفجار

المياه . لنفرض انهُ يوجد بركة ماءٍ كبيرة داخل جبل كما في ( شكل ١١٧ ) وينصب اليها مياه محصورة في اقنية عالية فاذا امتلأَت هذه الاقنية ولم يكن مصرف للماء يحدث من ذلك ضغط مفرط جدًّا قد يكون كافيًا لتشقيق الجبل فينفجر الماء

١٨٥ من ملاحظة الاحكام الطبيعية السابقة في السائلات قد أُخترع مكبس الماء الذي ينفع لجملة اعمال مثل عصر الزيت وكبس الورق وغير ذلك وهذه صورتهُ

في الانبوبة ا ( شكل ١١٨ ) يتحرك المِدَكُّ س داخل فيها دخولاً محكمًا واذ يرتفع هذا المدك يزرق الماء الى داخلها بضغط الهواء على الحوض من خارج كما سياتي في الهوائيات داخلاً من عند المصراع ح رافعًا اياهُ اذ يفتح الى فوق تابعا المدك في صعودهِ . ثم عند تنزيل المدك يُضغط على

شكل ١١٨




الماء وينطبق المصراع المذكور ويدخل الماء الى ك فيرفع العمود ع ف داخل برميل حديد سمكهُ نحو نصف قدم ويكبس العمود على الثقل مث

فينضغط بينهُ وبين العارضة ر التي تجعل متينة جدًّا لاجل احتمال ضغط قوي

ولا يخفى ان ضغط المدك س مثل ضغط عمود في انبوبة ا ثقلهُ مساوٍ لضغط المدك. وحسب ما تقدَّم الضغط على العمود ع ف يزيد على ضغط المدك س بنسبة زيادة قاعدة هذا على قاعدة ذلك. ثم ان المخل ن د يجعل ضغط س اعظم من القوة عند د فيقوى فعل الآلة جدًّا

لنفرض مساحة قاعدة المدك س = م وضغطهُ = ض ومساحة قاعدة العمود ع ف = مَ وضغطهُ = ضَ فيكون

ض : ضَ :: م : مَ

وانما اذ كان الثقل في هذا المخل عند ب بين القوة والدارك تكون

ق : ض :: ن ب : ن د

بالضرب ق : ضَ :: م × ن ب : مَ × ن د

اي ان القوة عند طرف المخل الى الضغط عند الثقل ث كنسبة حاصل مساحة قاعدة المدك س في بعدهِ عن الدارك الى حاصل مساحة قاعدة المدك ع ف في طول المخل

يوجد في مطبعة الاميركان في بيروت مكبس ماء قطر قاعدة العمود ع ف فيه يساوي ٨ عقد وقطر قاعدة المدك س يساوي ٨/٠ عقدة وطول المخل ن د يساوي خمسة اقدام وطول ن ب الذراع الاقصر يساوي عقدتين ونصف فاذا فرض ان قوة ١٠ ارطال تفعل عند طرف د فكم رطلاً يساوي ضغط هذه الآلة

الجواب ٢٩٢٢١٠٦ رطلاً

١٨٦ الجاذبية الشعرية . قد تقدم القول في الكلام على الجاذبية الشعرية ( رقم ٣٦ ) انها ليست سوى نوع من الجاذبية

العامة لان مرجعها اليها . وانهُ سبب ارتفاع السائل في الانابيب الضيقة السعة اكثر من ارتفاعهِ في الاوسع منها ان مادة السائل في الانابيب تزداد على نسبة اعظم من نسبة ازدياد قوة الجاذبية في جدرانها فتغلب جاذبية ثقل السائل على جاذبية الانابيب وينخفض السائل عند اتساعها وقد اوضحنا سبب ذلك هناك

١٨٧ اذا وضعنا الانابيب المذكورة في الزيبق يهبط الزيبق الى اسفل كما يرتفع الماء الى اعلى وذلك لكونهِ لا يوجد جاذبية التصاقية بين الزجاج والزيبق . اي انهُ اذا غطس فيهِ لا يلتصق عليهِ شيء منهُ ولكن بما انهُ للزيبق جاذبية التصاق بالذهب فاذا غطست انابيب ذهبية في الزيبق يرتفع فيها كما يرتفع الماء في الانابيب الزجاجية . ولكن ما هي العلة لكونهِ توجد جاذبية التصاق بين الذهب والزيبق وتدافع بين الزجاج وبينهُ ذلك غير معروف ولعل للكهربائية مدخل في ذلك

شكل ١٣٠



١٨٨ الماء يرتفع في انابيب شعرية متساوية طولاً مغطسة فيهِ فوق سطحهِ ويختلف ارتفاعهُ بالقلب كطول اقطارها . كما يرى في (شكل ١٣٠) فترى الماء اعلى

فيها كلما كانت اضيق سعةً او اصغر قطرًا

وبرهان ذلك ليكن علو انبوبة ا و انبوبة ب — ع وعلوّ عمود السائل في ا — س والعمود في ب — سَ والاول اعلى من الثاني ولنفرض قطر قاعدة ا — ق وقطر قاعدة ب — قَ

فلا يخفى ان الانابيب اذا كانت ذات ثخن واحد فمادتها تقاس بمساحة سطوح جدرانها الداخلة كما يستفاد من الهندسة وبالضرورة جاذبيتها تقاس بمساحة السطوح المذكورة لكون الجاذبية تتغير كالمادة لكونها نتيجتها. ومساحة السطوح تعرف بضرب المحيط في علو الانابيب. ثم جاذبية الثقل لكل عمود من السائل تكون بمقدار مادته وذلك يقاس بمساحة جرمهِ. ومساحة الجرم كما يعرف من الهندسة تساوي مساحة القاعدة في العلو. ولا ريب ان جاذبية الانابيب يقتضي ان تساوي جاذبية الثقل للسائل لكي ترفعهُ ففي الانبوبة ا يكون

(½ ق)^٢ × ٣٫١٤١٥٩ × س — ق × ٣٫١٤١٥٩ × ع

وفي الانبوبة ب (½ قَ)^٢ × ٣٫١٤١٥٩ × سَ — قَ × ٣٫١٤١٥٩ × ع

فبتحويل الاولى تصير ق × س — ٤ ع

« الثانية « قَ × سَ — ٤ ع

فاذًا ق × س — قَ × سَ وبتحويل هذه العبارة الى نسبة تصير

ق : قَ :: سَ : س

اي ان الاقطار تتغير بالقلب كالاعالي

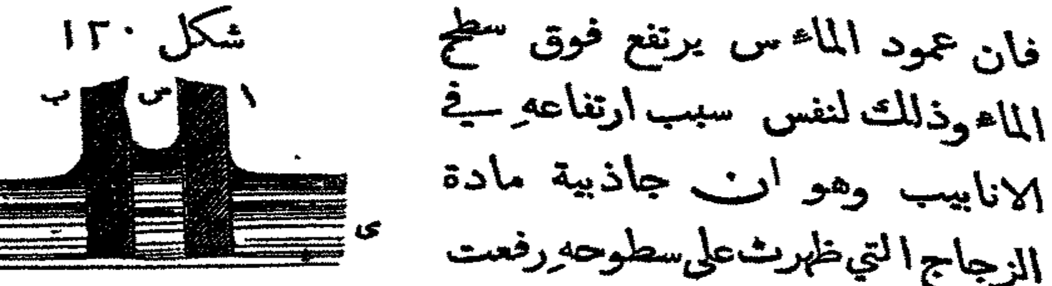
ولا يحصل فرق في علو عواميد السائل اذا كان بعض الانابيب اطول قليلاً من البعض الآخر لكون الجاذبية من الاجزاء العليا بعيدة وقليلة فلا تؤثر

واذا كانت جدران الانابيب اسمك فلا تؤثر كذلك في ثقل السائل او جاذبية الارض لهُ تاثيرًا يشعر بهِ لانها مهما زاد سمكها فهي كلا شيء بالنظر

الى الارض

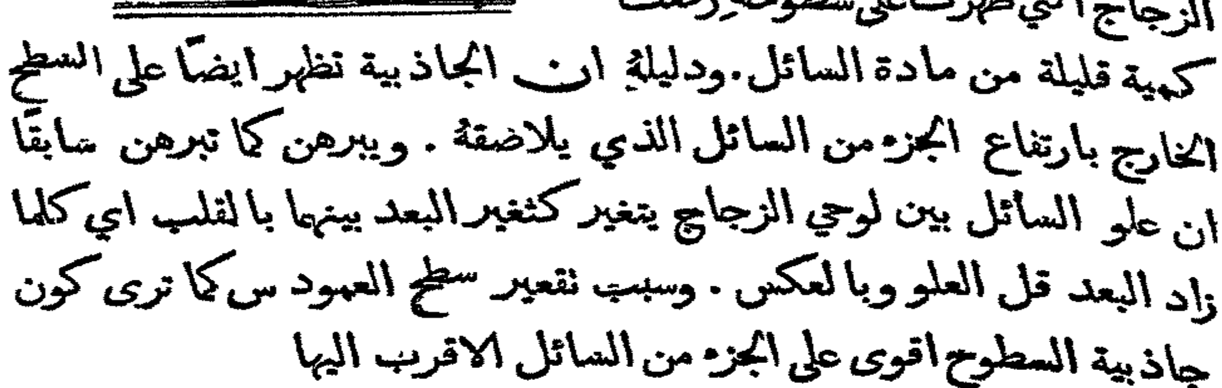
١٨٩ اذاً الجاذبية الشعرية مرجعها كما اشرنا الى الجاذبية العامة للمادة . فلان جاذبية مواد جدران الانابيب القليلة قد كانت كافية لرفع كمية قليلة من السائل رفعتها . والذي يوءيد ما قيل ان ذلك ليس بمختص في الانابيب الشعرية بل يظهر ارتفاع السائل ايضاً اذا قربنا لوح زجاج من اخر وغمسناهما في الماء

ليكن ا و ب ( شكل ١٣٠ ) لوحي زجاج وليغمسا في حوض مثل ى د فان عمود الماء س يرتفع فوق سطح الماء وذلك لنفس سبب ارتفاعه في الانابيب وهو ان جاذبية مادة الزجاج التي ظهرت على سطوحه رفعت



شكل ١٣٠

كمية قليلة من مادة السائل. ودليله ان الجاذبية تظهر ايضاً على السطح الخارج بارتفاع الجزء من السائل الذي يلاصقه . ويبرهن كما تبرهن سابقاً ان علو السائل بين لوحي الزجاج يتغير كتغير البعد بينهما بالقلب اي كلما زاد البعد قل العلو وبالعكس . وسبب تقعير سطح العمود س كما ترى كون جاذبية السطوح اقوى على الجزء من السائل الاقرب اليها

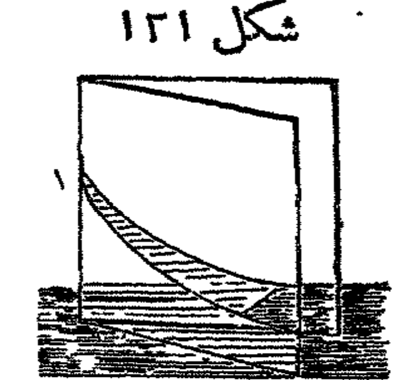


١٩٠ ان هذه التجربة تبين ماقيل ان علو السائل في الانابيب او بين الواح الزجاج يتغير كاقطار الانابيب او كعرض السائل

ليكن س و ب لوحي زجاج كما في ( شكل ١٣١ ) متحدين عند ا حتى

يجعل سطحاها زاوية حادة وليغمسا في ماء فالماء حينئذٍ يرتفع في الفسحة بينهما على هيئة منحنٍ يسمى شلجمي وعلو الماء بين السطحين يكون اعظم كل ما قل البعد بين النقطتين من السطحين اللتين البعد بينهما يوازي سطح الافق

شكل ١٢١



اذا غمست انابيب او الواح زجاجية قريبة من بعضها بعض في سائل الزيبق ترى ان السائل يهبط كما يرتفع الماء . وذلك لان جاذبية الزجاج تدفعهُ عوضًا عن ان تقربهُ اليهِ . وترى ان سطح الجزء من السائل الذي قد هبط محدبا وذلك لان قوة الدفع هي اقوى على الدقائق القريبة الى سطح الزجاج. وهبوطهُ يتغير كتغير اقطار الانابيب او البعد بين الالواح بالقلب وذلك يبرهن كما برهن سابقًا

١٩١ الاكزوسمس والاندوزمس . اذا فصل بين سائلين بحاجز مسامي وكان احد السائلين قابل الامتزاج مع الآخر وهما مختلفان في الثقل النوعي تدخل دقائق من احدهما الى الآخر وتخرج من دقائق الآخر اليهِ في مسام الحاجز المذكور وذلك ما يعرف بالاكزوسمس والاندوزمسس وهما لفظتان يونانيتان معناهما الخروج والدخول . وسبب ذلك ان الطبيعة تطلب التعادل في الثقل النوعي بين السائلين فتميل دقائق احدهما للسير الى دقائق الآخر ودقائق الاخر كذلك . ويساعدها في النفوذ في مسام الحاجز الجاذبية الشعرية الكائنة في المسام

فاذا اخذنا مثانة صغيرة او صفيقة اخرى شبكية آلية وربطنا فاها بانبوبة مفتوحة من الطرفين كما في (شكل ١٢٢) وملئت المثانة عرقًا او كحولاً وغمست مربوطةً بالانبوبة في وعاء ماء الى عمق بحيث يستوي سطح الماء وعنق المثانة ففي برهة قصيرة يلاحظ ان العرق يرتفع الى ان يصل الى راس الانبوبة ويفيض . وهذا الارتفاع في الانبوبة علته ان الماء يترشح وينفذ في مسام المثانة بقوة فينتج ما يقال له الاندوزمس اي الدخول . وفي الوقت نفسه كمية من الكحول تنفذ في مسام المثانة وتمتزج بالماء في الوعاء الخارج وذلك ما يسمى بالاكزوسمس اي الخروج . وانما كمية الكحول الخارجة من المثانة التي تمتزج في وقت مفروض مع الماء اقل من كمية الماء الداخلة في ذلك الوقت وبالنتيجة تتمدد المثانة اذ قد وجد فيها اكثر مما كان قبلاً من السائل فتضغطه الى الاعلى في الانبوبة

شكل ١٢٢

وهكذا اذا ملأنا قنينة عرقًا وغمسناها في الماء نرى بعد برهةٍ ان الماء قد دخل الى داخل القنينة فتعكر العرق ومثل ذلك اذا كان صندوقٌ مقسومًا الى قسمين بواسطة حاجز مسامي ووضعنا في الجانب الواحد قطر السكر وفي الجانب الآخر ماء

١٩٣ ان الجاذبية الشعرية تظهر في مواد كثيرة ما لوفة كفتايل المصابيح فلكون الجاذبية الشعرية لا ترفع الزيت الى علو عظيم الاحسن ان يملأ المصابيح يوميا بالزيت لكي يكون راس الفتيلة قريبًا من وجههِ فترفعهُ الجاذبية الشعرية بسهولةٍ فلا

يشح الضوء. ثم اذا غُمِس طرف خرقة في وعاء ماء وتدلى الباقي منها على حافتهِ فالماء يرتفع مترشحًا في القماش ثم ينقط بالتدريج منهُ وعلى هذا الاسلوب قد يمكن ان يفرغ من الوعاء جميع السائل. ثم اذا وجد رطوبة عند اسفل كومة رمل او قطعة من سكر او اسفنجة فتتصاعد تلك الرطوبة في مسامها بقوة الجاذبية الشعرية ثم تصير كلها رطبة . ثم ان الطبقة السفلى من بيت ذي طبقتين تترطب في ايام الشتاء لهذا السبب نفسهِ . والخشب كذلك اذا وضع في ماء يصعد الماء فيترشح فيهِ . ولما كان ينتفش فيتمدد بداعي دخول الماء فيهِ فقد يتخذ واسطة لتشقيف الصخور كما اشرنا (رقم ١٤)

## الفصل الثاني

### في الماء الجاري او الهيدرولك

١٩٢ الهيدرولك لفظة يونانية معناها ماء القصاطل. وهو فنٌّ يبحث فيهِ عن شرائع ومفاعيل السائلات الجارية وموضوعهُ خروجها من اثقاب وجريها في انابيب وقنوات وتموجها ومقاومتها الاجسام الجامدة المتحركة

ويقتضي ان نعتمد في هذا الفن على الامتحان اكثر مما على حكم العقل النظري لاثبات قضية اذ كانت الاحوال في سائل واحد تختلف كثيرًا. وذلك كاختلاف درجة الحرارة والصفاوة والجاذبية بين دقائقهِ التي يتوقف عليها سيلانهُ والفرك على جوانب الوعاء ومصادمة الهواء ومقدار الوعاء بالنسبة الى الثقب وهيئة الثقب نفسهِ والجهات المختلفة التي تجري فيها العواميد الرفيعة من السائل الى الثقب وعدم انتظام الحركة الذي يحصل للسائل بدواعي مختلفة

١٩٤ قد لاحظ علماء هذا الفن كيفية تفرغ او خروج الماء من وعاء في اثقاب صغيرة بامتحان مدقق في قعر او جوانب الوعاء بواسطة ادخال ذرات صغيرة جامدة تظهر مجرى السائل في وعاء زجاجي. فظهر ان دقائق السائل تنزل بخطوط عمودية على سطح الافق حتى تصل الى بعد ثلث او اربع عقد عن الثقب وحينئذٍ تعرّج عن ذلك الخط جاريةً الى نحو الثقب. وعند ما يقترب سطح السائل الهابط في الوعاء الى الثقب يظهر تجويف على هيئة قمع. والدقائق المختلفة التي تقتحم الى الثقب تجمع في نقطة خارجة على بعد من مركزهِ يساوي نصف قطرهِ ذاتهِ وهذه النقطة يقال لها عقدة التجمُّع

١٩٥ من القضايا العديدة التي تدرج في فن الهيدرولك سننتخب القضايا الآتية الاكثر اعتبارًا لكونها ذات لزوم لامورٍ مستعملة دارجة

اولاً اذا جرى سائل في انبوبةٍ او قصطل او حيّةٍ من معدن او خلافهِ وكان دائمًا ما ليها فسرعتها في اي جزءٍ كان من مجراها تكون بالقلب كمساحة القطع عند ذلك الجزء

لنفرض م و مَ مساحتي قطعين لانبوبة ذات فراغ مختلف ولتدل س و سَ على سرعتي السائل الذي يجري في م و مَ. فمقدار السائل الذي يجري في اي قطعٍ كان لا بد ان يتوقف على مساحة القطع والسرعة معًا. واذ قد فرض ان الانبوبة تبقى دائمًا ملآنة ففي اقطاعٍ مختلفة يجري ذلك المقدار في اوقات مختلفة لان الانابيب تفرغ من السائل الذي يجري فيها مقادير متساوية في اوقات متساوية فان زادت مساحة القطع نقل السرعة فيطول الوقت لجريان المقدار وان نقصت المساحة فبالعكس. فالمقدار الذي يجري في واحدٍ من الوقت يساوي في كل قطع مساحة القطع مضروبةً في السرعة . فاذًا م × س = مَ × سَ اي م : مَ :: سَ : س اعني ان السرعة بالقلب كمساحة القطع . فينتج من هذه القضية ان سرعة مجرى تزداد كنقصان العرض والعمق

١٩٦ انهُ في جريان سائل في انبوبةٍ الاجزاء القريبة الى المحور اسرع من القريبة الى الجوانب وفي كل قنا او نهر سرعة المجرى اعظم عند الاجزاء الوسطى التي يقال لها عند العامة السَّبَلَة

مما عند الجوانب واعظم عندّ سطح الماء مما في القعر وذلك لان فرك الجوانب والقعر يصد القريب اليها من السائل ويجعلها بطيئة. فيقتضي اذاً ان يوخذ معدل السرعة من ثلثة اقيسة متنوعة على الاقل

مثالهُ وجدت سرعة مجرى انها كانت

على وجه السيلة = ٥ اميال في الساعة

عند القعر = ٣ " " "

عند الجوانب = $٣\frac{١}{٢}$ " " "

اذاً معدل السرعة = $\frac{٣٫٥ + ٣ + ٥}{٣}$ = ٣٫٨٣ اميال في الساعة

ولكي نجد كمية الماء الذي يجري في نهر يقتضي ان نعرف اولاً مساحة قطع جزءٍ من النهر متساوي العرض بضرب عرضهِ في عمقهِ عند ذلك القطع اذا كان العمق واحداً حيثما يقاس او بضرب عرضهِ في معدل عمق القطع اذا اختلف كما يحدث غالباً. ويوخذ المعدل لعمق قطع بقياس اعماق مختلفة منهُ وقسمة مجموع كل الاعماق على عدد مرات الاقيسة. ثم اذا ضربت هذه المساحة في معدل السرعة يحصل الكمية المطلوبة

مثالهُ قاس شخص عمق مجرى في ثلثة اماكن من قطع فيهِ فكان معدلهُ $٨\frac{١}{٢}$ قدم وعرض المجرى ٥٦٠ قدماً ولاحظ سرعة جريان الماء برمي هباء يطفو على وجههِ فوجد ان معدل سرعة الجري كانت ٩٦ قدماً كل دقيقة فكم كان يفرّغ ذلك المجرى من الاقدام المكعبة في كل دقيقة

الجواب $٨\frac{١}{٢}$ × ٥٦٠ × ٩٦ = ٤٥٦٩٦٠ قدم مكعب في الدقيقة

١٩٦ ان المياه وسائر السوائل كبقيّة المواد الجامدة خاضعة لحكم الجاذبية فلا تجري الا اذا كان مجراها عمودياً على سطح الافق

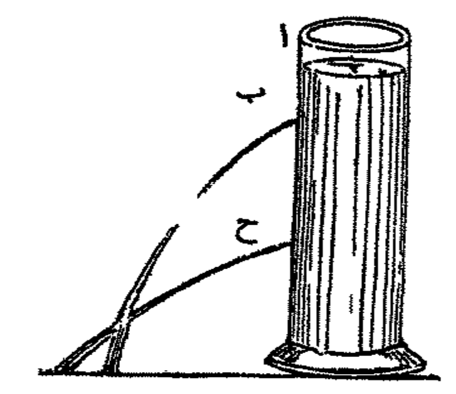
او مائلاً عليهِ . ولسهولة حركة دقائقها انخفاض قليل يجعلها تجري. فانخفاض ثلاث عقد كل ميل في قنا املس مستقيم يكسبها سرعة ثلاثة اميال كل ساعة. ونهر الكنك الذي تنصبُّ اليهِ مياه جبال حملايا على بعد ١٨٠٠ ميل من مصبهِ علوهُ فوق سطح البحر ٨٠٠ قدم فقط. فلكي يمر الماء في هذا السطح المائل يقتضي لهُ اكثر من شهر. ولكن لا يقتضي ان نحكم ان سرعة مجرى الماء تزداد كمربع الوقت على انخفاض طفيف بموجب شريعة سقوط الاجسام الجامدة على سطوح مائلة . وذلك لسبب فرك الماء على القعر والجوانب وخشونة المجرى وارتفاعهِ وانخفاضهِ وغير ذلك فلاجتماع هذه الاسباب ترى حركة الماء على سطح قليل الانخفاض متساوية. ومما يعيق حركة الماء في مجراهُ وجود الزوايا بين القصاطل لكونها تصادم الماء حينئذٍ في مجراه . فيقتضي لاجل تسهيل جريان الماء ان تجعل زوايا القصاطل على هيئة تعاريج منحنية عند ما يراد ردها عن جهة مستقيمة. ويجب ان يعتبر في السائلات ايضاً ان الزخم متوقف على السرعة والمادة معاً كالاجسام الجامدة ويعرف مقدار ذلك من حاصلها ولذلك كلما زادت سرعة الماء ومادتهُ زاد مفعولهُ كزيادة حاصلها

١٩٧ . السرعة التي يتفرغ بها سائل من ثقب صغير في قعر

اوجانب وعاء يدوم ملآنًا تتغير كالجذر المالي من العمق تحت وجه السائل

فليدل ك وكَ على كميتين من السائل متفرغتين من ثقبين مختلفين عمقًا مثل ب و ح ( شكل ١٣٢ )

شكل ١٣٢




ولتدل س و سَ على سرعتيهما و ا ب و ا ح على عمقيهما . ثم لما كان الضغط على اعماقٍ مختلفة يختلف كالعمق والزخم ايضًا يختلف كقوة الضغط فالزخم يختلف كالعمق . فنسبة س × ك : سَ × كَ :: ا ب : ا ح . ولكن في ثقب مفروض كمية السائل المتفرغ تختلف كالسرعة كما لا يخفى او س ∞ ك

اذًا س٢ : سَ٢ :: ا ب : ا ح

او س : سَ :: √ا ب : √ا ح

١٩٨ إن السائل يتفرغ من ثقب في قعر او جانب وعاء يدوم ملآنًا بالسرعة التي يكتسبها جسم يسقط من وجه السائل الى ذلك الثقب

لانهُ اذا فرض في (شكل ١٣٢ ) ا ب = ب علو الثقب الذي سرعة السائل فيه = س و ا ح = بَ علو الثقب الذي سرعة السائل فيهِ = سَ يكون بموجب ما مر

س : سَ :: √ب : √بَ

او بالضرب في √٢ ج

س : سَ :: ٢ \ ٢ (ج ب) : ٢ \ ٢ (ج بَ)

ثم اذا فرضنا س — سرعة صفيحة صغيرة الى غير نهاية من السائل عند وجههِ في ثقب تحتها فتكون سرعتها صفرًا لكون الضغط صغيرًا الى غير نهاية وبينها ب — صفرًا اذ كان علو الثقب صغيرًا الى غير نهاية وتكون في النسبة المذكورة س — ٢ \ ٢ (ج ب) لكون كل منها صفرًا . فاذًا سَ — ٢ \ (ج بَ) والسرعة الاخيرة لجسمٍ يسقط في البين بَ — ٢ \ ٢ (ج بَ) (رقم ٧٥) فسرعة السائل في كل ثقب اذا تفرغ من وعاء يدوم ملآنًا تساوي السرعة التي يكتسبها جسمٌ يسقط في علو الثقب

فمن ثقبٍ عمقهُ ١٦ ١/١٢ تحت وجه الماء سرعة التفريغ ٣٢ ١/٦ قدم في الثانية لان هذه هي السرعة الاخيرة لسقوط جسمٍ في ١٦ ١/١٢ قدمًا . وعند عمق اربعة اضعاف هذا العدد اي ٦٤ ١/٣ السرعة تتضاعف فقط اي تكون ٦٤ ١/٣ قدم في الثانية وهلمّ جرًّا

ثم لما كانت سرعة التفريغ عند اي عمق كان تساوي السرعة الاخيرة لجسمٍ يسقط في مثل ذلك العمق ينتج ضرورةً انهُ اذا اريد اتمام عملٍ ميكانيكي بالماء كتدوير دولاب مطحنة فلا فرق بين ان الماء يخرج من كوةٍ في اسفل على جهة افقية ويدفع الدولاب او يسقط على الدولاب من اعلى الحوض على ان الاوّل انسب لكون السائل حينئذٍ يسلم من مقاومة الهواء التي يلاقيها بنزولهِ من اعلى الحوض بموجب الحال الثاني

١٩٩ اذا امتلأ وعاء اسطواني او موشوري سائلاً وكان قطعهُ الموازي سطح الافق واحدًا حيثما كان وتفرغ من ثقب ولم يدُم ملآنًا تتغير سرعة هبوط وجهِ السائل فيهِ كتغير الجذر المالي من العمق كما ان سرعة الثقب تتغير كذلك كما مر

لانهُ اذا فرض ب = العمق من وجه السائل الى الثقب و س سرعة التفريغ من الثقب تكون كما مر نسبة س : سَ :: √ب : √بَ . ولما كان قطع الوعاء مفروضاً واحداً فلا يخفى انهُ اذا كان قطع الوعاء مساوياً للثقب تكون سرعة هبوط السائل فيهِ تساوي سرعتهُ في الثقب واذا اختلف قطع الوعاء عن الثقب تختلف سرعة هبوط السائل في الوعاء كالقطع بالقلب حيثما كان وجه السائل . فاذا فرضنا د سرعة وجه السائل في الوعاء و م مساحة الوجه و ح مساحة قطع الثقب يكون

د : س :: ح : م واذا هبط وجه الماء شيئاً يكون

دَ : سَ :: ح : م

فاذاً د : دَ :: س : سَ

وكما مر س : سَ :: √ب : √بَ

اذاً د : دَ :: √ب : √بَ

٣٠٠ وعلى هذا المبدا قد اصطنعت ساعة الماء المسماة باصطلاحهم كليسدرا . وتعليل ذلك انهُ اذا كان هبوط وجه الماء متباطئاً ابداً كالابيان فالابيان التي تمر بها في اوقات متساوية اذا ابتدانا من اسفل هي كالاعداد الوترية ١و٣و٥و٧ الخ . واذا اصطنع لوعاء ماء اسطواني التشكل ثقبة عند اسفلهِ منها يتفرغ كل ماء الوعاء في ٢٤ ساعة تماماً وانقسم جانب الوعاء الى ٥٧٦ قسماً متساوياً من راسهِ الى اسفلهِ وعند نهاية ٤٧ قسماً منها من الراس رسم ١ ومن ثم عُدَّ ٤٥ قسماً ورسم ٢ وهلمَّ جرّاً فتلك الارقام الاربعة والعشرين تدل على ساعات اليوم

٣٠١ اذا لاحظنا بالتدقيق الوقت الذي فيهِ يتفرغ وعاء اسطواني او موشوري قطعهُ الافقي واحد حيثما كان الى حد ثقبة مفروضة . ثم جعلنا السائل يجري من الثقبة والوعاء يبقى ملآناً

دائمًا في نفس الوقت نحصل في الحالة الثانية على كمية من السائل ضعف الكمية في الحالة الاولى . لانهُ اذا بقي الوعاء ملآنًا دائمًا فالسرعة عند الثقبة وبالضرورة الكمية المتفرغة منها تبقى على حالها الاول . ولما كانت ظروف هذا الامر كلية المشابهة لظروف جسم صاعد عموديا الى فوق وكان الجسم الصاعد يمر بمضاعف البين اذا بقي على السرعة الاولى في نفس الوقت الذي فيهِ يصعد بسرعة متباطئة فالامر واضح من ذلك ان كمية السائل الخارجة من الثقب اذا بقي الوعاء ملآنًا تكون مضاعف الخارجة اذا لم يضف ماء الى الوعاء ليبقى ملآنًا

٣٠٢ السائل المتفرّغ من جانب وعاء يرسم منحنيًا يسمى بالشَّلْجَمي . وذلك لان ظروف السائل المتفرغ مطابقة بالتمام لظروف الجسم المرمي لان الضغط عليهِ عند الثقب كناية عن قوة تدفعهُ الى بعد ما وحسبما تقدم في الكلام على الاجسام المرمية يرسم منحنيًا شلجميًّا

٣٠٣ اذا رُسم نصف دائرة على الجانب العمودي من وعاء يبقى ملآنًا مجعولاً قطرًا وتفرغ سائل على جهة افقية من اي نقطة كانت في ذلك القطر فبعدها الافقي عن اسفل الوعاء يساوي ضعف المعيَّن لتلك النقطة

لان السرعة التي بها يتفرغ سائل من الوعاء ا د في نقطة غ كما في (شكل ١٣٤) اذ تبقى على حالها لكون الوعاء يدوم ملآنًا تحمل السائل في بين يساوي ٢ ب غ في وقت سقوطهِ في ب غ . ولكن بعد ترك السائل الثقبة غ يصل الى ى في السطح الافقي س ف في الوقت الذي فيهِ يسقط جسمٌ من غ الى د او في الوقت

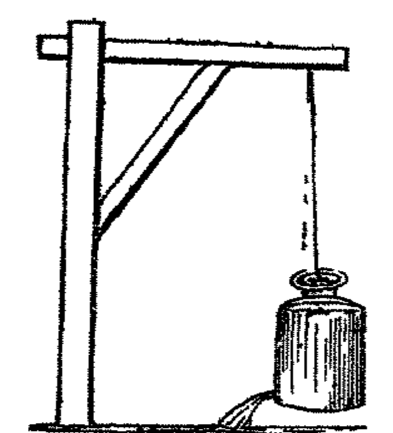
شكل ١٣٤

الذي يصل فيهِ السائل بحركتهِ المتساوية وحدها من غ الى ل (رقم ٨٧).
ولما كانت الاوقات في الاجسام الساقطة كالاجذار المالية للابيان فنسبة √ب غ : √غ د :: وقت ب غ : وقت غ د اي وقت الوصول الى ى الذي = وقت ابتعادهِ عن الوعاء بمقدار ل او د ي بحركتهِ دون الجاذبية . ولكن في وقت نزول السائل في ب غ يجري على التساوي على جهة افقية في بين يساوي ٢ ب غ . لنفرض غ ط = ٢ ب غ وغ ل = د ي اذًا √ب غ : √غ د :: وقت (غ ط : وقت د ى او غ ل . ولان الحركة متساوية وقت غ ط : وقت غ ل :: غ ط او ٢ ب غ : غ ل او د ي . فاذا √ب غ : √غ د :: ٢ب غ : د ى = البعد الذي يمر بهِ في جهة افقية بينما ينزل في غ د وبتحويل النسبة تكون د ى = $\frac{\text{٢ب غ} \times \text{√غ د}}{\text{√ب غ}}$
= ٢ √(ب غ × غ د) = ٢ غ ح اي ضعف المعين لنقطة غ

فالبعد الاقصى يكون حينما يتفرغ السائل من المركز لان المعين حينئذٍ وبالضرورة مضاعف المعين يكون الاعظم . والابعاد تكون متساوية في الاثقاب التي هي على بعد واحد فوق المركز وتحتهُ لانهُ عند كلّ نقطتين على بعد واحد من المركز يتساوى المعينان

٣٠٤ قد تقدم الكلام ان ضغط السائل الذي يحتويه وعاء عند علو واحد متساوٍ الى كل الجهات فيضغط على جوانب الوعاء المتقابلة على التساوي ولذلك يبقى راكدًا. فاذا ازلنا الضغط من احدى نقطتين متقابلتين من جانبي وعاء مع بقائهِ في الاخر بجعل ثقبٍ يجري منهُ السائل على الجانب الواحد فالضغط الباقي على الجانب الآخر يميل الى ان يحرّك الوعاء الى جهة ذلك الجانب. فاذا علقنا وعاء ماء زجاجيًا كرقاص (شكل ١٢٥) وفتحنا ثقبًا صغيرًا على جانب واحد منهُ فالضغط على هذا الجانب اذ كان قد زال وبقي على الآخر فالوعاء يتحرك الى جهة

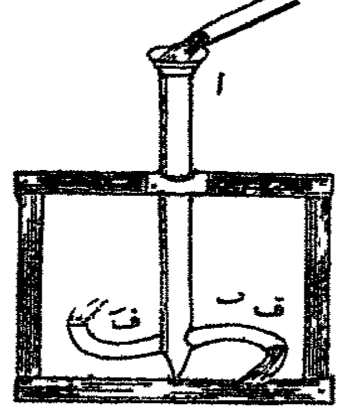
شكل ١٢٥





الجانب المتقابل من الثقبة ويبقى على علو ما فوق مكانهِ الاول

شكل ١٢٦




٣٠٥ على هذا الناموس اختُرِعت طاحون باركر واصطناعها كما في هذا الشكل. اب اسطوانة فارغة متحركة حول محور عمودي وف فَ اسطوانة اخرى عمودية على الاولى وعلى موازاة الافق متصلة بها من داخل وعند طرفيها المنعكفين فوهتان على جانبي هذه الاسطوانة

مفتوحتان الى جهتين متقابلتين . وقد فرض في الشكل ان الفوهة عند ف هي امام القاري وعند فَ على الجانب الثاني من الانبوبة والماء ينصب من فوهة حية لكي تبقى الاسطوانة ا ب ملآنة دائمًا واذ كان الماء يخرج جاريًا من ف وفَ فالضغط على جانبي الاسطوانة المقابلين هاتين الفوهتين يفعل على الذراعين ف ب وفَ ب ويدير الاسطوانة الافقية التي تدير الاسطوانة اب والآلات المتحدة معها . فضغط عمود من الماء هنا يفيد جدًّا لانهُ بتطويل ذراعي ب ف وب فَ مع بقاء قوة الضغط على طرفيها يزيد ربح القوة على الثقل كما يحدث في تطويل ذراع المخل الذي يلي القوة او تكبير الدولاب التي تفعل عليهِ القوة وكذلك تزيد قوة التباعد عن المركز . وهذه الآلة تعد عند الميكانيكيين الاعظم فعلاً اذا قصد استعمال قوة كمية مفروضة من ماء يسقط من علوٍ مفروض لتشغيل آلةٍ

٣٠٦ انهُ بوضع انبوبة للثقب الذي يجري منهُ سائل يسهل تفريغهُ وذلك بخلاف المظنون . لانهُ بداعي الفرك الذي يحدث من مرور سائل في انبوبة قد يظن ان ثقبًا بسيطًا مصنوعًا في وعاء يكون انسب لتفريغ السائل من فوهة مستطيلة . ولكن قد وجد بالامتحان ان وعاء من تلك ذا ثقب املس عند اسفلهِ لا يفرّغ ماء بسرعة آخر حاوٍ نفس المقدار من الماء ذي ثقب متساوٍ لثقب الاول مركبةٍ لهُ انبوبة قصيرة او حنفية . وبتغيير طول الحنفية قد عرف انهُ اذا كان طولها ضعف قطرها تكون الاسرع تفريغًا اذ تفرغ ٦٢ مقدارًا من الماء في مئة ثانية بينما الثقب البسيط لا يفرغ سوى ٤٦ ٣/٤ في الوقت نفسهِ . ولكن ان كانت

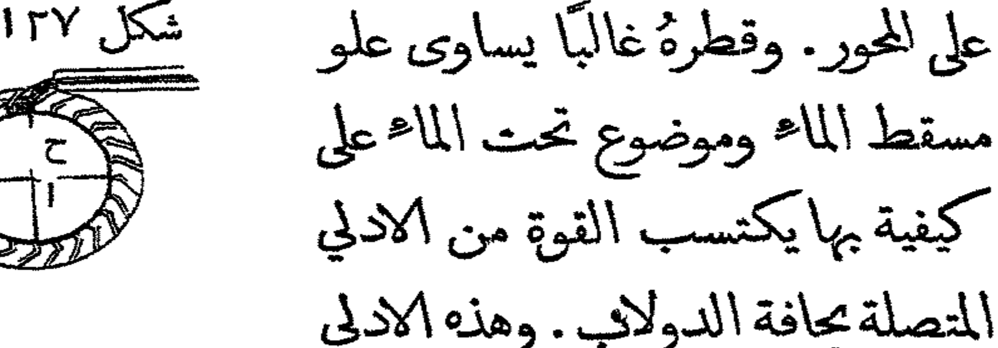
الحنفية او الانبوبة ناتئة الى داخل الوعاء فالكمية المفرغة تنقص عوض ان تزداد بها

اذا ارسل الماء في حية اسطوانية مستقيمة على اي بعدٍ كان فالماء المفرغ يمكن ان يزداد بتدبير هيئة نهايتي تلك الحية فقط اعني بجعل طرف الحية المتصل بالحوض ذا هيئة مخروطية على هيئة عقدة التجمع كما تقدم ( رقم ١٩٤ ) وبجعل الطرف الآخر منها حيث يتفرغ الماء بهيئة بوق وبهذه الواسطة تتضاعف كمية الماء المفرّغة في وقت معيّن

٢٠٧ دواليب الماء . ان دواليب الماء الاكثر استعمالاً التي تستعمل لامور مختلفة هي ثلاثة انواع الدولاب الفوقي والتحتي والجانبي

اما الدولاب الفوقي فيستعمل متى كانت كمية الماء الجارى قليلة اذ كان هذا النوع يشغلهُ مقدارٌ من الماء اقل مما يشغِّل النوعين الاخرين

ان ( شكل ١٢٧ ) يدل على قطع دولاب فوقي عمودي على المحور . وقطرهُ غالبًا يساوى علو مسقط الماء وموضوع تحت الماء على كيفية بها يكتسب القوة من الادلي المتصلة بجافة الدولاب . وهذه الادلي

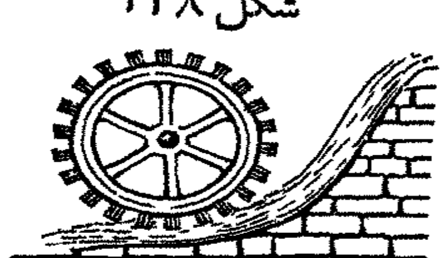


شكل ١٢٧

مصنوعة على هيئة تحفظ الماء ما امكن حتى يصل الى النقطة

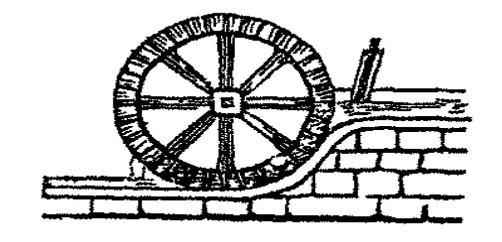
السفلى من الدولاب ولكن لا تبقي شيئاً بعد اجتيازها تلك النقطة كما ترى . وبهذه الواسطة ثقل الماء في الادلي يجعل ثقلاً عظيما في الجانب الواحد من الدولاب فينزلهُ مع وجود مقاومة قليلة لصعود الجانب المتقابل للدولاب من ثقلها فقط لكونها تصير فارغة على الجانب الاخر . وعلى علوٍّ قليل مثل ح ا يقتضي ان يكون الماء ليكتسب زخماً بعلوهِ فيغلب مع ثقل الماء في ح ا على فرك الدولاب . ثم بقية الادلي على الجانب ف تعطي قوةً للدولاب بمقدار ثقل الماء الذي فيها ويكون الزخم الاعظم للماء عند ف طرف القطر الافقي

شكل ١٢٨



٣٠٨ اما الدولاب التحتي فيدفعهُ زخم المياه الجارية كما في (شكل ١٢٨) التي تلطم فراش الدولاب على الجانب الاسفل ويستعمل حيث تكون كمية الماء وافرة ولكن علوها قليل

شكل ١٢٩

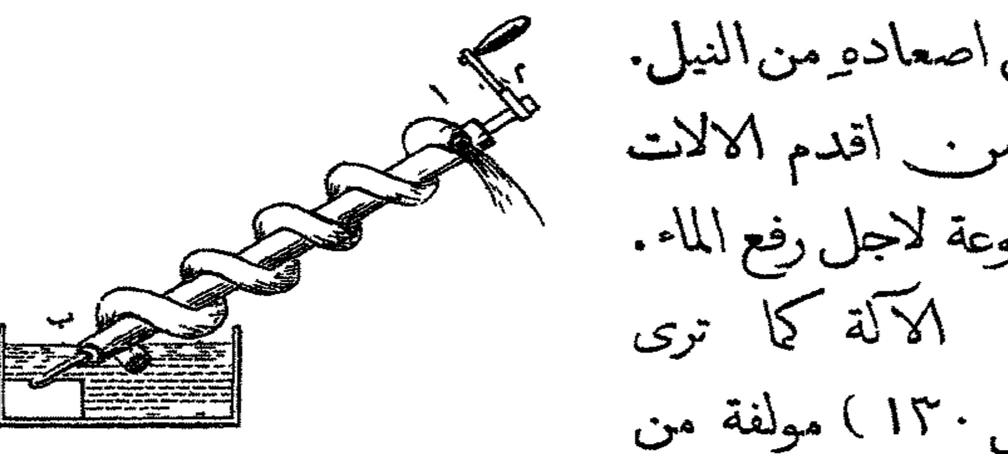


٣٠٩ اما الدولاب الجانبي فيحركهُ ثقل الماء وزخمهُ معاً كما في (شكل ١٢٩) ولذلك يختار حيث يكون مقدار الماء

كافياً ولكن ليس دائماً وافراً جداً. والماء يلطم سطوح عوارض الدولاب المستعرضة المتصلة بحافتهِ على زوايا قائمة على محيطهِ. وهي موضوعة قريبة للماء بحيث تحملهُ كالادلي وممر الماء يصنع مستديراً لكي يناسب استدارة الدولاب

٢١٠ لولب ارخميدس . ان هذا اللولب آلة قيل اخترعها في مصر الفيلسوف المذكور لاجل اصعاد الماء عند فيضان النيل من الاراضي المنخفضة او لاجل اصعادهِ من النيل. وهي من اقدم الالات المصنوعة لاجل رفع الماء. وهذه الآلة كما ترى (شكل ١٣٠) مولفة من

شكل ١٣٠




حية ملتفة لفاً لولبياً حول اسطوانة مصمتة اب التي تدار بالمسكة م . وهذه الاسطوانة توضع غالباً مائلة ٤٥° على سطح الافق ويجوزان يبلغ ميلها الى ٦٠° اذ يستقر طرفها الاسفل في الماء وعند ما تدار تنغمس فوهة الحية السفلى بالماء كما ترى ويدخل جانبٌ منهُ فيها . وبدوام ادارة الاسطوانة يجري الماء الى اسفل في الحية اذ تكون سطحاً مائلاً عليها كما يتضح لك ذلك من مراجعة

البرغي ( رقم ١٦٢ ) فيستقرّ في الجانب الاسفل من الحية ثم في الدورة الثانية يدخل جانب اخر في الفوهة ويجري في الحية وهلمّ جرًّا فيتفرغ الماء من فوهة الحية العليا . ولا يخفي انهُ يقتضي ان يكون ميل الحية على الاسطوانة اعظم من ميل الاسطوانة على سطح الافق لكي تميل الاولى على سطح الافق بمقدار الفرق بين ميليهما فيهبط الماء فيها ويجري الى اعلى والا فلا تحصل فائدة . وقد تستعمل هذه الآلة لغير رفع الماء كرفع سبائك من حفرة معدن ورفع الحبوب من مخزنٍ في الاماكن التي تصنع فيها البيرا

٢١١ مقاومة السائلات . ان سبب مقاومة السائل لجسم متحرك فيهِ ناتج عن الاستمرار وجاذبية الالتصاق فيهِ والفرك . اما الاخير فالارجح ان تاثيرهُ قليلٌ في المقاومة واما الثاني فضعيف في اكثر السائلات بمقابلتهِ مع الاستمرار

فالسبب المعتبر فيما ياتي اذًا لمقاومة الاجسام الجارية في السائل هو استمرارهُ لانهُ لما كان ذا استمرار على حالة السكون يقاوم الجسم المتحرك فيهِ برد الفعل عند ما يدفع ما في طريقهِ منهُ ( رقم ١٠٤ )

٢١٢ المقاومة التي يلاقيها سطح جارٍ في سائل على جهة عمودية على السطح هي كمربع سرعتهِ . لانهُ مهما اكتسب السائل

من الحركة او الزخم يبطل بمقدار ذلك من الجسم المتحرك فيكون زخمهُ كناية عن المقاومة . اما الزخم فيختلف كاختلاف كمية المادة والسرعة معًا. فلنفرض المقاومة المذكورة او الزخم يساوي م وكمية المادة تساوي ك والسرعة تساوي س فاذًا م ∝ س × ك وانما كمية السائل المندفعة متناسبة للسرعة اي ك ∝ س اذًا م ∝ س

هذه القضية تصادقها المشاهدة اذا كانت السرعة قليلة كسرعة المراكب والقوارب في الماء ولكن اذا زادت السرعة جدًّا كسرعة كلة مدفع في الماء فالمقاومة تزداد بنسبةٍ اعظم من نسبة ازدياد مربع السرعة ولعل السبب في ذلك انهُ متى تعاظمت السرعة جدًّا يصير للفرك وجاذبية الالتصاق تاثير قوي . ولما كانت المقاومة تزداد بازدياد السرعة فالسرعة التي بها يمكن ان يحرك مركب ذو قلوع او بخاري هي معتدلة. لان المركب الذي تسوقهُ ريحٌ تتحرك ٦٠ ميلاً في الساعة لا تكون سرعة جريهِ اعظم من ١٢ او ١٤ في الساعة . ولكن الهواء لهُ خصائص السائل كما سياتي فالجسم المتحرك فيهِ كالعربيات وخلافها تجري مقاومتها على ذات هذا القانون وهو ان المقاومة تزداد على نسبة ازدياد مربع السرعة اي انهُ اذا تضاعفت السرعة تصير المقاومة اربعة اضعاف او صارت عشرة اضعاف فتصير المقاومة مئة ضعف وهلمَّ جرًّا واما الجسم الساقط في الهواء بالجاذبية الى بعدٍ مديد لا تدوم سرعتهُ تتزايد في كل البعد بموجب ناموس الاجسام الساقطة بل اخيرًا مقاومة الهواء تجعل حركتهُ متساوية

٢١٢ تموُّج الماء : اذا انكبس وجه الماء في مكان فالعمود المكبوس يهبط الى تحت وجه السائل الاصلي والعواميد المتصلة

بهِ تصعد فوقهُ وبعد ذلك اذا ترك لذاتهِ تهبط العواميد التي ارتفعت وبالاستمرار تنزل تحت وجه السائل وترتفع المتصلة وهلمَّ جرًّا الى ان تتلاشى هذه الحركة الناتجة عن الاستمرار بواسطة الفرك وصد الهواء فيرجع سطح الماء ممهدًا راكدًا كما كان اولاً. وهذه الحركة يقال لها التموج وعلى هذه الكيفية تحدث امواج او تموّج في البحر او البحيرات او الماء في وعاء بواسطة كبس الارياح او خلافها عليها

شكل ١٢١



ان العلاَّمة اسحق نيوتن اول من لحظ المشابهة بين حركة الامواج وخطران عمود من الماء في انبوبة محنية وعلى ذلك بنى حكمهُ الآتي ذكرهُ في التموج. ليكن ا ف غ ب في (شكل ١٢١) انبوبة ملتوية ذات فراغ سعتهُ واحدة وجدرانهُ متوازية بعضها لبعض عمودية على الافق. ولنفرض انها امتلأَت ماء او سائلاً آخر الى عمق م مَ فاذا كبس عليهِ عند مَ حتى يصل العمود الى نَ مثلاً يصعد الى ي في الجانب المتقابل . ثم اذا زال الكبس فالعمود الطويل ي ف يطلب الرجوع لكونهِ اثقل من نَ غ الى م حيث كان اولاً. ولكن العمود الصاعد نَ غ لا يقف عند مَ وانما بداعي استمرارهِ واستمرار عمود ي ف يصعد الى يَ اي الى حد العلو المساوي للعمق الذي نزل اليهِ ويكون قد هبط ي ف الى ن. ثم يهبط ايضاً وهلمَّ جرًّا وهذه الحركات المتوالية تدوم الى ان تتلاشى بمقاومة الهواء والفرك . اما هذه الخطرات فكل

منها اقصر من الاخرى ولو جعل لها وأسطة لتبقيها متساوية لكانت تدوم مثل خطرات الرقاص تمامًا . وعلى هذا المبدا يحصل تموج في المياه اذا فعلت قوة ما على وجههِ كقوة الريح او سقوط حجر او خلاف ذلك . لان الماء الذي يهبط بتلك القوة يرفع الماء المتصل بهِ وهذا المتصل بهِ وهلمّ جرًّا الى ان يتلاشى التموج بفرك الماء بعضهُ على بعض وصد الهواء . ولكون العمود الهابط يرفع عمودًا محيطا بهِ مساويًا لهُ اذا كان مستديرًا لذا يحصل تموُّج مستدير حيث تفعل القوة على دائرة او شبهها في حوض او نهر او في البحر اذا كان ماؤُهُ راكدًا ووجههُ مستويًا

٢١٤ يظهر من الامتحانات والملاحظات ان الريح لاتستطيع ان تنزّل الماء الى عمق بعيد لانهُ في الانواء الشديدة لا يكاد ماء البحر ينزل الى عمق ٣٠ قدمًا تحت وجههِ الاصلي والمرجَّح انهُ لم ينزل قط الى عمق ثلاثين قدمًا . فلا يصدق قول البحرية حينما يبالغون في تعاظم الامواج وتعاليها . ويقتضي ان يعتبر انهُ في الانواء تتعاظم الامواج الى مقدار مهول بداعي تكوُّم امواج على امواج لانهُ اذا كانت الريح تهبُّ دائمًا ترفع موجة على اخرى وهلمَّ جرًّا

٢١٥ اذا كان عمق الماء كافيًا لحركتهِ بسهولة فلا تتقدم الامواج بفعل الامواج المحيطة بها بل تبقى في مكانها . ولكن ان قام صخر قرب وجه الماء او كان الماء قريبًا الى الشاطي فاعاق حركتها تجري الامواج في جهة التموج . وذلك لان الماء العميق لا

يوازنهُ الماء على المكان القليل العمق ولذلك يميل
الى الجريان في تلك الجهة فتنفلش الامواج
وتزبد وهذا ما يقال لهُ عند العامة فقش
الموج وقد يراد بفقش الموج مكان
ازباد الموج





# الباب الخامس

## في الهوائيات وفيهِ مقدمة وستة فصول

### المقدمة

#### في ماهية الجلد وخصائصهِ

٢١٦ الهوائيات فن يبحث فيهِ عن توازن السائلات المرنة وحركتها. وتقسم السائلات المرنة الى قسمين غازية وبخارية . اما البخار فسائل مرن ينتج عن سائل آخر او جسم صلد بفعل الحرارة ويرجع الى حالة السيلان او الجمودة بواسطة البرودة . كالبخار الصاعد من ماء غالٍ فانهُ بسهولة يتحول بالبرودة الى سائل . اما الغاز فسائل مرن لا يتحول الى سائل غير مرن او جامد الا بعض انواع منهُ ببرودة شديدة او بضغط فائق العادة يحولهُ الى سائل كحامض الكربونيك. فهواء الجلد من هذا الصنف واليهِ سيتجه كلامنا بنوع مخصوصي في ايضاح فعلهِ الميكانيكي لانهُ كثير الاستعمال لهذه الغاية

٣١٧ ان هواء الجلد هو السائل المرن المحيط بكرة الارض وهو يحتوي عدة غازات اخصها الاكسجين والنيتروجين ويمتزج الاول مع الثاني بنسبة ٢١ مع ٧٩ مع كمية قليلة من حامض الكربونيك وبخار الماء . وهذا الهواء ضروري للانسان وسائر الحيوان لانهُ يتنفسهُ بادخال كميّة منهُ الى الرئتين واخراجها على الدوام. وهذا التنفُّس تتوقف عليهِ الحيوة الحيوانية لان الرئتين تاخذان من الهواء في كل نَفَسٍ ما يلزم للحيوة من الاكسجين وتطردان صحبتهُ ما يضر بالحيوة من الكربون الذي يتجدد دائمًا في الدم . وهو ضروري لنمو النبات ايضًا لانهُ يمتص مقدارًا عظيما منهُ لنموهِ. وامتصاصُهُ الهواء بعكس تنفس الحيوان لانهُ ياخذ الكربون ويطرد الاكسجين فياخذ كل منهما ما يطردهُ الآخر كما يبين ذلك باسهاب في الفسيولوجيا والكيميا . والحكمة في ذلك قصد حصول التبادل بين الحيوان والنبات فياخذ كل منهما ما ينبذه الآخر لكي لا يزيد كل من الغازين المذكورين ولا ينقص فكلا الزيادة والنقصان مضر . ولهذا لا يحسن تكثير النبات والاشجار في مكان مستوطن ولا تقليلها . وسنوضح خصائص الهواء بثلث قضايا

اولها ان الهواء مادة وذلك لانهُ يشعر بهِ باللمس ولهُ خواص المادة المذكورة سابقًا . اما امتداده فلا يحتاج الى برهان . واما

عدم تداخلهِ فيبان من انهُ اذا غُطِّس اناءٌ في الماءِ وأُديرت قاعدتهُ الى فوق وفمهُ الى اسفل فالماءُ لايصعد في الاناءِ ويملأهُ الى اعلاه مهما عمقناهُ في تغطيسهِ بل يصعد فيهِ قليلاً بضغطهِ الهواءِ داخلهُ. وذلك ليس الا لعدم امكان تداخل الماءِ في الهواءِ ضمن الاناءِ حيث لامنفذ لاحدهما . وكذلك اذا ادخلنا في فم اسطوانة مجوفة صقلة مذكًا يدخل فيها دخولاً محكمًا ويتحرك فيها بسهولة لاتستطيع قوة مهما كانت عظيمة ان تجعلهُ يماس اسفل الاسطوانة مالم تُعمَل طريقة لخروج الهواءِ من داخلها . اما استمراهُ فيتضح من مقاومتهِ الاجسام التي تتحرك فيهِ كما اذا حُرِّكت فيهِ شمسية مفتوحة مثلاً على جهةٍ موازية لعصاها . اما ثقلهُ فيظهر من انهُ اذا وزنّا وعاءً ثم اخرجنا منهُ الهواءَ بطريقة سياتي ذكرها ووزناه ثانية يخف عن الاول. فوعاء يسع ٤٢ اوقية طبية من الخمر ( نحو ٧½ اواق) يخف ١٨ قمحة بعد اخراج الهواءِ منهُ عما كان قبلاً . و١٠٠ عقدة مكعبة من الهواءِ تزن ٢١½ قمحة

ثانيها . الهواء سائل وذلك يتبين ليس من سهولة تحرك دقائقهِ فقط بل ايضاً من خصائص السائلات المميزة لها عن غيرها وهي ان جزءًا من الهواء في حالة السكون يضغط وينضغط الى كل الجهات على التساوي وان ضغطًا او لطمةً على جزءٍ من

الهواء يمتد في جميعهِ ويؤثر في كل جزء على التساوي كما مرَّ في تموُّج الماء (رقم ٢١٢)

ثالثها. ان الهواء سائل مرن وذلك يظهر من انهُ اذا ضُغِطت مثانة منتفخة ورفع عنها الضغط ترجع حالاً الى هيئتها الاولى. ومن حيث ان الهواء اذا ضُغِط يرجع او يميل ان يرجع الى حالهِ بالقوة التي ضغط بها نفسها فهو جسم تام المرونة (رقم ١٠١ و١٠٢). ولا نعني بذلك ان قوة مرونتهِ لا تزداد ولا تنقص لانهُ كل ما زاد انضغاطهُ زادت بمقدار ذلك مرونتهُ وانما نعني انهُ يرجع الى حالتهِ الاولى بقوة ضغطهِ تماماً

٢١٨ ان حجم ثقل مفروض من الهواء هو بالقلب كقوة الضغط عليهِ

شكل ١٢٢



ليكن ا ب س د انبوبة زجاج مفتوحة عند ا ومسدودة عند د كهذا الشكل وليصبَّ فيها زيبق . فالزيبق يميل الى ان يكون على علوٍ واحد في ذراعي الانبوبة كما مر (رقم ١٧٨) ولكن الهواء في س د يقاوم صعودهُ بمرونتهِ فيكون اعلى كثيراً في ا ب مما في س د منضغطاً الى نصف حجمهِ د ل فوق الزيبق فعمود الزيبق س ل يوازن حينئذٍ العمود المساوي لهُ ب ص والعمود ص ي يكون قياس قوة مرونة الهواء المنضغط. فاذا اضيف زيبق يصعد العمود س ل فلنفرض صعودهُ الى ن حتى ينضغط الهواء الى علو د ن ربع حجمهِ

الاصلي . فيوجد بالقياس ان رح الذي هو قياس مرونة الهواء في د ن هو ضعف علو ص ي تمامًا .وبناء عليهِ يقتضي ضغط مضاعف لتحويل كمية من الهواء الى نصف حجمها وعلى هذا الاسلوب يبين ان ثلاثة اضعاف الضغط تصيِّر الحجم ثلثًا وبالاجمال الحجم هو بالقلب كقوة الضغط

لما كانت قوة مرونة الهواء تختلف كقوة الضغط لانهُ تام المرونة ويرجع بالقوة التي يُضغط بها وقوة الضغط بالقلب كالحجم كما مر والكثافة تختلف ايضًا بالقلب كالحجم كما لا يخفى فقوة مرونة الهواء تختلف ككثافتهِ

# الفصل الاول

## في البارومتر

٢١٩ البارومتر هو مقياس ثقل الهواء . وهو آلة مركبة من انبوبة زجاج سعة فراغها اعظم جدًا من سعة فراغ انبوبة الثرمومتر متصلة بكيس من جلد مملوء زيبقًا والزيبق صاعدمنهُ في الانبوبة الي علو نحو ٢٢ عقدة فوقهُ .وهذه الانبوبة مركزة على خشبة مستطيلة على جانبيها مقياس من عاج مقسوم الى ٢٢او ٢٤ عقدة وكل عقدة الى اعشار . واول مخترع لهذا المقياس معلم

طبيعي اسمهُ طورسلّي في فلورنسا سنة ١٦٤٣ . ولاجل ايضاح كيفية اصطناعهِ نقول انهُ اذا اخذنا انبوبة زجاج طولها نحو ثلثة اقدام مسدودة عند الطرف الواحد ومفتوحة عند الآخر وملأناها زيبقاً ثم قلبناها في وعاء مملوء زيبقاً بحيلة تبقي الزيبق في الانبوبة حتى لا ينصب منها عند قلبها الى الارض ثم غمسنا الطرف المفتوح في وعاء فيهِ زيبق ايضاً كطست او كيس جلد كما في (شكل ١٣٣ ) فعمود الزيبق يسقط الى علو معلوم نحو ٢٩ او ٣٠ عقدة حيث يستقر بعد ارتجاجات قليلة . اما الفسحة في الانبوبة فوق الزيبق فاذ كانت خالية من الهواء او من اي مادة اخرى خلافهِ هي بلا شك فراغ تام . وتسمى غالباً الفراغ الطورسلي نسبةً الى الشخص المذكور. ولاجل ابقاء هذا الفراغ خالياً من الهواء او من اي غازٍ اخر يقتضي الاحتراس الكلي من جملة امور لكي يبقى الفراغ تامّاً

٢٣٠ ان علة صعود عمود الزيبق الى هذا العلو فقط هو بدون شك ضغط عمود من الهواء يوازنهُ قاعدتهُ تساوي قاعدة الاول على كيس الزيبق ولا بد ان يكون مساويا لهُ ثقلاً والا لما توازنا . فعلى ذلك يمكنا ان نتوصل الى معرفة ثقل الهواء او ضغطهِ الحقيقي بطريقة مدققة اذ كان عمود الهواء يساوي ثقل عمود

من الزيبق من ذات قاعدتهِ علوه ٣٠ عقدة . ولا يخفى سبب مساواة قاعدتيهما على الفطن من ملاحظة السائلات فيما مر لان عمودًا من السائل يوازن عدة عواميد منهُ متصلة بهِ كما يوازن واحدًا . فثقل عمود من الزيبق بهذا العلو يعرف بسهولة لانهُ لما كانت عقدة مكعبة من الماء وزنها ٢٥٢،٥٢٥ قمحة والزيبق هو ١٣،٥٧ مرَّة اثقل من الماء فعقدة مكعبة من الزيبق تزن ٣٤٢٦،٧٦ قمحة و ٣٠ عقدة تزن ١٠٢٨٠٢،٨ قمحة ولكن ٧٠٠٤ قمحات تساوي ليبرا فيكون ثقل العمود من الزيبق الذي علوهُ ٣٠ عقدة وقاعدتهُ عقدة مربعة يساوي $\frac{١٠٢٨٠٢،٨}{٧٠٠٤}$ =١٤،٧ ليبرا . فينتج ان كبس الهواء على كل عقدة من سطحٍ نحو ١٥ ليبرا او اكثر من ٢٠٠٠ ليبرا على كل قدمٍ مربع واذا ضربنا هذا العدد في الاقدام المربعة على سطح الارض نعرف ثقلهُ كلهُ . واذا ضربنا ٢٠٠٠ ليبرا في ١٤ قدم معدل مساحة جسم الانسان فالحاصل = ٢٨٠٠٠ ليبرا او لان الليبرا = ١٤٤ درهم تكون ٢٨٠٠٠ ليبرا = ٥٠٤٠ رطلًا او نحو ٥٠ قنطارًا من الهواء يكبس من كل الجهات على الجسم الانساني . ثم لمَّا كانت السائلات المختلفة توازن بعضها بعضًا في عواميد متقابلة اذ تكون علواتها بالقلب كثقلها النوعي كما مر ( رقم ١٨٠ ) فعمود من الماء مكان

الزيبق يرتفع الى علو نحو ٣٤ قدمًا لان الزيبق اذا كان ١٣٬٥٧ مرة اثقل من الماء فعمود من الاخير يقتضي ان يكون ١٣٬٥٧ مرة اعلى من الاول اي ٣٠ × ١٣٬٥٧ = ٤٠٧٬١ عقدة = ٣٣٬٦٢٣ قدمًا او نحو ٣٤ قدمًا

٢٢١ بملاحظة علوّ عمود الزيبق المذكور من يوم الى يوم نجد انهُ يتغير في فسحة عقدتين او ثلاثٍ دالًّا على ان هواء الجلد لا يضغط دائمًا ضغطًا متساويًا بل ان عمودًا مفروضًا من الهواء احيانًا اخف واحيانًا اثقل . ولغاية معرفة ثقل عمود الهواء بالتدقيق بقياس تغيرات العلوّ قد اصطنع مقياس متصل بالبارومتر مقسومًا الى عقد واعشار عقد وغالبًا ممتدًا من ٢٧ الى ٣١ عقدة (شكل ١٣٣) وهذه الفسحة تنوف عما يلزم لاجل معرفة كل التغيرات الطبيعية في ثقل هواء الجلد ولهذا سميت هذه الآلة بارومتر اي قياس الثقل

شكل ١٣٣

٢٢٢ اذ كانت تغيرات الثقل هذه احيانًا دقيقة جدًّا قد اخترع رجل اسمهُ فرنير من مدينة بروسل مقياسًا اخر يسمَّى المدقِّق والاوروبيون يسمونهُ فرنير كاسم المخترع متصل

بالمقياس الذي ذكرناهُ بواسطتهِ تحسب اعشار العشر من العقدة اي الاجزاء من مئة من العقدة . وهذا الفرنير مصنوع من صفيحة صغيرة تتحرك الى فوق والى تحت على مقياس البارومتر بواسطة برغي او مسمار ومقسوم كما سياتي

ليدل ا ب كما في ( شكل ١٢٣ ) على القسم الاعلى من البارومتر اذ يكون وجه الزيبق عند س اعني بين خطّي ٣٠٢٣ و٣٠٢٤ عقدة ولم يطابق احدهما فنستدل منهُ على علوهِ بل يكون علوهُ اكثر من العدد الاول واقل من الثاني . ولكي تعرف عند كم من العلو هو فوق خط ٣٠٢٣ من اعشار عشر العقدة اي اجزاء من مئة اجعل اعلى المدقق مطابقًا لوجه الزيبق ثم انزل بالنظر الى ان تجد مطابقة احد خطوط التقسيم من المدقق لاحد خطوط اعشار العقدة فترى المطابقة عند القسم الثامن من المدقق كما في ( شكل ١٢٤ ) ولما كان طولهُ يزيد

شكل ١٢٤

عن طول العقدة بمقدار عشر العقدة وهو مقسوم ايضًا الى عشرة اقسام فعشرة اقسامهِ = ١١ من اعشار العقدة . فكل قسم منهُ يربح عشر عشر العقدة اي ٠١، من عقدة من خطي المطابقة فصاعدًا وبالضرورة الثمانية اقسام تربح ٠٨، . فكمية الكسر اذًا فوق ٣٠٢٣ هي ٠٨، من عقدة وعلو الزيبق يكون ٣٠٢٣٨ . وقد يقسمون المدقِق الى ٦٠ قسمًا اذ يكون طولهُ يساوي ٦١ قسمًا من اقسام مقياس البارومتر المحسوب كل قسم منها درجة فيربح حينئذٍ

كل قسم منهُ ٦٠/١ لانهُ في ٦٠ درجة يربح درجة واحدة فيمكننا من ذلك ان نستعلم الدقائق . واذا كان المقياس مقسومًا الى دقائق وطول المدقق ٦١ دقيقة وهو مقسوم الى ٦٠ قسمًا تُعرَف منهُ الثواني اذا لم يطابق علو الزيبق احد خطوط تقسيم الدقائق

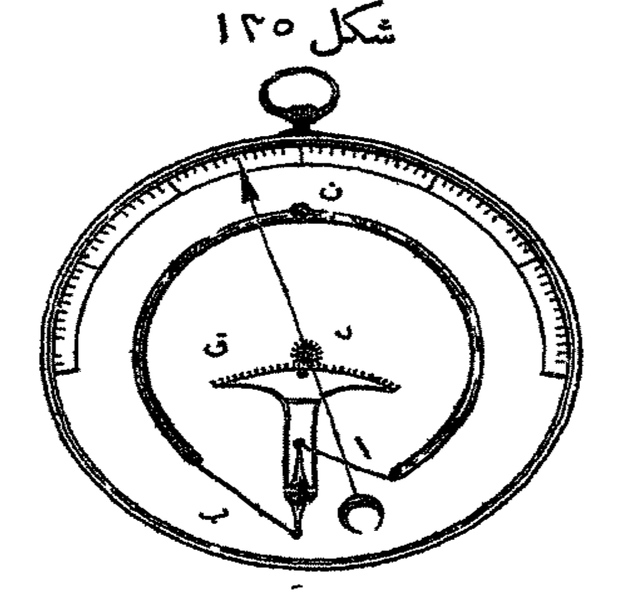
١٢٣ اذا عُمِل البارومتر لكي يثبت في مكانٍ واحد فالوعاء المحتوي الزيبق يُستحسَن اصطناعهُ على هيئة طاجن واسع . لانهُ عند صعود الزيبق في حوض قليل السعة اذ ينزل في الانبوبة رد الفعل من الجوانب يرفع الزيبق فيها فيقتضي لاجل ذلك اصلاح . ولكن في حوض وسيع الفرق لذلك قليل جدًّا فلا يعتدُّ بهِ

١٢٤ توجد انواع اخر من البارومتر جميعها اصطُنعت على المبدا المذكور وهو ان يجعل ضغط الهواء على مادة امامها فراغ . فيمكن ان يصنع بارومتر ماء بموجب التدبير المذكور لبارومتر الزيبق نفسهِ . غير انهُ اذ كان يقتضي ان يكون علو عمود الماء حينئذٍ نحو ٣٤ قدمًا لا يناسب اصطناع بارومتر كهذا للنقل من مكان الى اخر بل يقتضي ان يصنع ثابتًا . ولا تخفى طريقة اصطناعهِ على الفطن اذا احسن اعتبارهُ فيما مر من الكلام على بارومتر الزيبق

وقد اخترع نوعًا من البارومتر رجل يقال لهُ بوردون من باريز وسمي بالاضافة اليهِ بارومتر بوردون المعدني . وقد اصطنعهُ من معدن اخر غير الزيبق ولذلك وصف بالمعدني

اما هذه الآلة فموءلفة كما ترى في ( شكل ١٣٥ ) من سيرٍ من نحاس رقيق ذو فراغ ومحني بهيئة قوس دائرة . وهذا السير بعد ان يفرَّغ منهُ الهواء ويسد سدًّا محكمًا بتدبير كيمياوي يربط في وسطهِ حتى يتحرك طرفاهُ بسهولة فبنقصان ضغط الجلد يفترق الطرفان وبزيادتهِ يتقاربان . وبواسطة الشريطتين ا و ب والقوس المسنن ق الذي يحرك

شكل ١٣٥




الدولاب د تتصل حركة طرفي السير ن الى العقرب ع الذى يدور على قوس مقسوم الى درجات في سطح ابيض . فمتى زاد ضغط الهواء يدور العقرب المذكور الى جهة دوران عقارب الساعة ومتى نقص فبالعكس كما لا يخفى من النظر الى الشكل . وعلى هذه الدرجات يُعيَّن مكان المطر ومكان الصحو. وتحفظ كمية الاقدام لانتقال العقرب درجة واحدة الى اليمين بالنزول او الى اليسار بالصعود . اما سبب تقارب طرفي السير بزيادة ضغط الهواء فكون جدرانهُ النحاسية رقيقة لدنة فتزيد تحدُّبًا بزيادة كبس الهواء على جانبيهِ من خارج ولا مقاومة من داخل لفراغهِ من الهواء وبالعكس بقلة ضغط الهواء

وقد اخترعوا انواعًا اخر من البارومتر لاحاجة لذكرها لان من عرف هذه المذكورة لا يخفى عليهِ غيرها

٢٢٥ لما كانت تغيُّرات البارومتر في مكان واحد بحسب تغيُّرات ثقل الهواء فيهِ وكانت هذه التغيُّرات متوقفة على اختلاف

الطقس فتصلح هذه الالة ايضًا ان تكون مقياسًا للطقس وبها يعرف تغيُّر طقس قبل حدوثهِ ببضع ساعات لانهُ بصعود الزيبق في البارومتر نستدل على صفاوة الطقس وبنزولهِ على تعكُّرهِ مهما كان علوهُ وهذه الدلالة اعظم دلالات البارومتر اعتبارًا . وكذلك هبوط فجائي قد تصحبهُ ريحٌ عاصفة وقد تاتي عقيبهُ مرارًا كثيرة . وعلة نزول البارومتر هي بلا شك خفة الهواء في ذلك المكان الذي هو فيهِ . وعلة خفة الهواء هي ان الرطوبة البخارية المنتشرة والممتزجة فيهِ الزائد بها ثقلهُ النوعي تتحول ببرد الرياح او غيرهِ الى نقط ماء في وسطهِ كما سياتي فتقلُّ رطوبتهُ وبالنتيجة يخف ثقلهُ

٢٢٦ ان معدل ضغط هواء الجلد المدلول عليهِ بالبارومتر على سطح البحر في كل اقاليم العالم سواءٌ ولا يختلف الا قليلًا جدًّا ويعادل تقريبًا ٣٠ عقدة من الزيبق . وهذه الحقيقة قد أُثبتت بمراقبات عديدة للبارومتر في نصفي الكرة من الاقاليم الاستوائية الى القطبية . والاعداد الاتية تدل على معدل الضغط لعدة اماكن في اعراض مختلفة من بعد الاصلاح لمعدل الحرارة والبرودة والارتفاع عن سطح البحر وتاثير دورة الارض وهي على التساوي تقريبًا

| | °عرض | علو بارومتر |
|---|---|---|
| كلكتا | ٣٥ ′٢٢° | ٢٩٫٧٧٦ |
| لندن | ٣١ ′٥١° | ٢٩٫٨٣٧ |
| ايدنبرج | ٥٦ ′٥٥° | ٢٩٫٨٣٥ |
| جزائر ململ | ٣٠ ′٧٤° | ٢٩٫٨٨٤ |

ولكن فسحة التغيُّر ولئن يكن معدل ضغط الجلد متساويًا تقريبًا على سطح البحر في كل كرة الارض تختلف جدًّا باختلاف الطقس في اعراض مختلفة . ففي الاقاليم الاستوائية اختلاف البارومتر يكون في فسحة اقل من القطبية وفي المناطق المتجمدة يكون في فسحة اقل من المعتدلة. وبين خطي السرطان والجدي سعة تغير البارومتر لا تزيد عن ربع عقدة كثيرًا . وفي نيويورك لاتزيد عن ١ ½ عقدة اذ يكون في بريتانيا مقدار ٣ عقد . والتغير الاعظم اتساعًا يحدث بين عرض ٣٠° و ٦٠° حيث يحدث تغيرات الطقس السنوية باشد قوة لاجل نزول الامطار على المنطقة المعتدلة التي جعلها الخالق الانسب للسكن وجعل معظم اليابسة فيها

ثم انهُ يحدث في البارومتر تغيرات مختلفة في مدة ساعات النهار والليل تُسمَّى تغيراتِهِ الساعاتية ولتحقق معدل هذه في مكان

مفروض يقتضي مراقبات عديّدة متصلة منها يعرف معظم العلو واقلهُ

٢٢٧ انهُ بعد اختراع البارومتر بمدة قصيرة قد لوحظ ان الزيبق يهبط اذا حمِلت الالة الى مكان اعلى . وقد وجد ان الهبوط يكون ١/١٠ عقدة لعلو ٨٧ قدمًا. ومن هذه الملاحظة نستعلم ثقل الهواء النوعي قرب سطح الارض تقريبًا بالنظر الى الماء . فان ١/١٠ عقده من الزيبق يظهر ان وزنها يساوى ٨٧ قدمًا او ١٠٤٤ عقدة من الهواء. وبالنتيجة عقدة من الزيبق توازن ١٠٤٤٠ عقدة من الهواء اي ان ثقل الزيبق هو ١٠٤٤٠ ضعف من الهواء اذا تساويا في الجرم. والماء هو $\frac{١٠٤٤٠}{١٣،٥٧}$ =٧٦٩ مرة ثقل الهواء فيكون ثقل الهواء النوعي بالنسبة الى الماء المقطَّر $\frac{١}{٧٦٩}$=٠٠١٣، ( راجع رقم ٤٣ )

# الفصل الثاني

## في الجَلَد ومتعلقاتهِ

٢٢٨ مما تقدَّم من الكلام على خصائص السائلات المرنة

يسهل على التلميذ ادراك القضايا المتعلقة بهواء الجَلَد التي ستذكر. فلندخل الان في البحث عن ثقلهِ وامتدادهِ وكثافتهِ وتغيُّراتهِ بالحرارة والرطوبة وهلمَّ جرًّا

انهُ من البارومتر يسهل علينا ان نحسب ثقل هواء الجَلَد. لانهُ اذا اعتبرنا ان عمودًا من الزيبق معدَّل علوهِ ثلاثون عقدة يساوي عمودًا من الهواء بسعتهِ يكون ثقل الجلد يساوي بحرًا من الزيبق يغطّي كل سطح الارض عمقهُ ٣٠ عقدة او قدمان ونصف يجعل مع الارض كرة قطرها اطول من قطر الارض بخمسة اقدام. ويكون جرم هذا البحر من الزيبق يساوي الفرق بين جرم الارض وجرم الكرة المشار اليها ومتى حصل لنا كمية الاقدام المكعبة لذلك يبقى علينا فقط ان نضربها بثقل القدم المكعب من الزيبق لاجل معرفة ثقل الزيبق المحيط بالارض الذي ينبينا عن ثقل الهواء. ولان ثقل الزيبق النوعي = ١٣،٥٧ وثقل قدم من الماء = ٦٢ ½ ليبرة فالقدم المكعب من الزيبق = ١٣،٥٧ × ٦٢ ½ = ٨٤٨،١٢٥ ليبرة وهذه صورة العمل

لتكن ر نصف قطر الارض و ب = علو الزيبق و م = نسبة المحيط الى القطر وهي ٣،١٤١٥٩ فجرم الارض = $\frac{٤م ر^{٣}}{٣}$

وجرم الكرة الحاوية الزيبق = $\frac{٤م (ر + ب)^{٣}}{٣}$

وجرم الزيبق = $\frac{٤م (ر+ب)^{٣}}{٣} - \frac{٤م ر^{٣}}{٣} = ٤م \left( ر^{٢}ب + رب^{٢} + \frac{ب^{٣}}{٣} \right)$

ولكن لمَّا كان ب يدل على كسر صغير جدًّا من ر فالجزءان الاخيران اذا حُذِفا من العبارة لا يكون تاثير جوهري فيها ويكون جرم الزيبق ٤ م ر٢ ب . وبالتعويض عن هذه الكميات بقيمتها العددية لنا ٤ (٥٢٨٠×٣٩٥٦)٢ × ٩٥١٤١٣٢×٥٫٠٢٣ — عدد الاقدام المكعبة في جرم الزيبق كلهِ الذي اذا ضُرِب في ٨٤٨ ١/٨ يحصل ١١٦٣٤٩١٤٨٨٠٤٠٨٨٣٨٣٢٢ ليبرة او ١٠١٧٠٤٧١٨٩٣٧٤٨٤٠٨٩٨ رطلاً . ولنا طريقة اخرى لمعرفة ثقل الجلد وهي ان نجد كمية العقد المربعة على سطح الارض ونضرب ذلك في ١٥ ليبرة لان كل عقدة تحمل كذا كما مر فيكون لنا ثقل الهواء من الليبرات

٢٣٩ لو كان الجَلَد ذا كثافة متساوية في جميع اجزائهِ لسهل علينا من ذلك تحقُّق معرفة علوهِ لانهُ لمَّا كانت عواميد متقابلة من سائلات مختلفة تتوازن عند ما تكون علواتها بالقلب كثقلها النوعي كما تقدم . فاذًا نسبة الثقل النوعي للهواء اليهِ للزيبق كنسبة علو عمود الزيبق الى علو عمود الهواء المتقابل الموازن لهُ اي ١ : ١٠٤٤٠ :: ٢٠٥ : ٣٦١٠٠ اقدام = ٥ اميال تقريبًا . ولكن ذلك بعيد عن الحقيقة جدًّا لان اسبابًا متعددة تجعل كثافة الجَلَد مختلفة كثيرًا وهي

(١) كون الهواء قابل الانضغاط والصفائح السفلى تضغطها العليا لكونها حاملةً لها (٢) اختلاف كمية الهواء في اعراض مختلفة (٣) نقصان جاذبية الارض بنسبة زيادة مربع البعد من مركزها (٤) تاثير الحرارة والبرد (٥) الامتزاج بالبخار

وسائلات اخر (٦) جاذبية القمر وغيرهِ من الاجرام السموية .
وكون الصفائح السفلى من الجلَد اثقل جدًّا من العليا يتضح من ان
الجلَد فوقها هو كما يظهر مما مر جسيم جدًّا

٣٢٠ ان كثافة الهواء هي كالمرونة او كالقوة الضاغطة كما
تقدم (رقم ٣١٨). فكلما صعدنا من الارض يتناقص الثقل المحمول
وتقل الكثافة بموجب هذا الناموس وهو

كثافة الهواء تتناقص بنسبة هندسية كتزايُد البعد من
الارض بنسبة حسابية

لنفرض ان صفائح الهواء محسوبة رقيقة جدًّا حتى يسوغ ان تعتبر ذات
كثافة واحدة. ولتكن الصفيحة السفلى ا والتي تليها ب والثالثة ت وهلمَّ جرًّا.
ولتكن ايضًا اَ ثقل عمود الجلَد كلهِ المحتوي ا وبَ ثقل العمود المطروح
منهُ ا وتَ ثقلهُ اذا طرح منهُ ا وب وهلمَّ جرًّا . فثقل الصفيحة الاولى هو
اَ — بَ وثقل الثانية بَ — تَ الخ . وانما كثافة جسمين من حجمٍ واحد
تختلف كثقلهما فاذًا كثافة ا : كثافة ب :: اَ — بَ : بَ — تَ. ولكن اذ
كانت الكثافة كالضغط كما مرَّ والضغط كناية عن ثقل جرم الهواء الضاغط
من اعلى تكون نسبة كثافة ا : كثافة ب :: بَ : تَ وبمساواة النسب اَ — بَ
: بَ — تَ :: بَ : تَ اي ان اَتَ — بَ تَ — بَ² — بَتَ اي اَ تَ —
بَ² ونسبة اَ : بَ :: بَ : تَ. وهكذا يبرهن ان بَ : تَ :: تَ : ثَ وهلمَّ جرًّا
اي ان الاثقال على الصفائح المتوالية وبالنتيجة ككثافاتها هي على سلسلة هندسية.
فاذا كان الهواء على بعد معلوم من الارض نصف ثقل الذي عند سطح

الارض فالهواء الذي على ضعف ذلك البعد يكون ربع ثقلهِ او الذي على ثلاثة اضعاف البعد يكون ثمنهُ وهلمّ جرًّا

انهُ بواسطة مراقبات البارومتر في اعراض مختلفة وعمل الحساب بموجب تلك المراقبات قد عُرف بالتاكيد انهُ عند علو سبعة اميال فوق الارض كثافة الهواء هي ربع كثافتهِ عند سطحها . فاذا اخذنا سلسلة حسابية فضلها المشترك سبعة لتدل على علوات مختلفة وسلسلة هندسية ضاربها المشترك ¼ لتدل على الكثافات المتقابلة لها نعرف بسهولة كثافة الهواء في اي ارتفاع فرض

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سلسلة حسابية | ٧ | ١٤ | ٢١ | ٢٨ | ٣٥ | ٤٢ | ٤٩ |
| سلسلة هندسية | ¼ | ١/١٦ | ١/٦٤ | ١/٢٥٦ | ١/١٠٢٤ | ١/٤٠٩٦ | ١/١٦٣٨٤ |

فيظهر من هذه السلسلة انهُ عند علو ٢١ ميل لطافة الهواء اربعة وستين ضعف لطافتهِ عند سطح الارض وعند علو ٤٩ ميلاً ستة عشر الفًا وثلاث مئة واربعة وثمانين ضعفًا منها واذا مشينا في الحساب بالاستقراء نجد ان لطافتهُ على بعد مئة ميل هي اعظم الف مليون ضعف ما على الارض وبالضرورة مقاومتهُ هناك للاجسام المتحركة فيهِ لا يشعر بها . فان المعلم للك صعد في بلون الى حيث سقط بارومترهُ الى اثنتي عشرة عقدة فاذا فرضنا البارومتر يستقر على وجه الارض في ذلك الوقت عند ثلاثين عقدة ينتج انهُ قد صعد الى علو ثلاثة اخماس كل الجلد لان اثنتي عشرة عقدة خُمسَي ثلاثين قد وازنت عمود الهواء فوقهُ . فيكون علوهُ فوق عشرين الف قدم . واذا كانت الارض مثقوبة الى داخلها بحيث يدخل الهواء فكثافتهُ تزداد نزولاً على اسلوب نقصانها صعودًا . وعند عمق اربعة وثلاثين ميلاً تصير كثافتهُ كالماء وعند عمق ثمانية واربعين ميلاً يصير بكثافة الزيبق وعند عمق نحو ٥٠ ميلاً بكثافة الذهب . ثم قد يظن من القانون المذكور ان علو الهواء لا ينتهي

لكون الكثافة تدوم تتناقص كمربع البعد لكونهِ يميل ابدًا الى التمدد كما مرَّ . ولكن الامر ليس كذلك لان قوة ميل الهواء الى التمدد تضعف بضعف الكثافة فتصل الى درجةٍ تتساوى فيها بالجاذبية عند علوٍ ما فتبطل

٢٣١ ان القانون المذكور لا يعطينا حسابًا ضابطًا لاجل معرفة كثافة الهواء لعلوٍّ مفروض لان الكثافة يوثر فيها ظروف شتى كما ذكر قبيل هذا اما الجاذبية فليس لها تاثير يشعر بهِ على اعالٍ مختلفة كاعالي الجبال فلا يلتفت اليها في الحساب ما لم يقصد التدقيق الكلي. وانما تغييرات البرد والحرارة لها تاثير قوي في البارومتر ولذلك يكون من الضرورة ان يعتبر طقس معين في المراقبات واذا لاحظنا هذه الامور المختلفة يكون البارومتر مقياس مدقق لمعرفة العلو . واهمية ذلك حملت علماء هذا الفن على بذل الالتفات والاعتناء التام بهِ . اما علو الجلد من الحد الذي يتكسر فيهِ النور فهو نحو ٤٥ ميلًا ويعرف بواسطة الشفق وسنذكر ذلك عند الكلام على البصريات . ولعلهُ يمتد الى علو ١٠٠ او ٢٠٠ ميل فوق سطح الارض

٢٣٢ انهُ كلما صعدنا من الارض في الجلد تقل حرارة الهواء حتى نصل الى محل الجليد الذي يقال لهُ حدُّ التجلُّد الدائم وهو الحد الاسفل حيث يتجلد الماء في وقت معلوم ولو في الطقس

الحار وما فوقهُ تكون درجة حرارتهِ تحت الصفر في الترمومتر. وعلو هذا الحد عند خط الاستواء نحو ثلاثة اميال ثم ياخذ بالانحطاط حتى يصير عند عرض ٣٥° نحو ميلين ويتلاشى عند القطبتين. اما علة استيلاء البرودة في الاصقاع العليا من الجلد فهي ان النور الآتي من الشمس المصحوب بالحرارة يجتاز في هذا الجلد المتوسط بدون حاجز لكونهِ شفافًا فلا يكتسب الهواء حرارتهُ . فحرارة الشمس لاتكاد تؤثر فيهِ لو كان شفافًا تامًّا واذا اكتسب شيئًا منها حينئذٍ يكون بالمجاورة لا بالانعكاس . واما البخار والغيوم ومواد اخر فتقلل شفَّافيتهُ وتحجز جانبًا من اشعة الشمس فتكسبهُ قليلاً من الحرارة . ولكن شعاع الشمس بوقوعها على الارض تكسبها حرارتها وسطح الارض يعكس جانبًا منها وصفيحة الهواء التي تلي الارض تتلطف اذ تمتص جانبًا من تلك الحرارة بالمجاورة وبالانعكاس فتصعد وياتي هواءٌ آخر من الجوانب الى مكانها وهذا يتلطف ايضًا بحرارة الارض فيصعد وهلمَّ جرًّا. والهواءُ الصاعد لا يبعد كثيرًا قبل ان يبرد فينضغط ويتوازن في الثقل النوعي مع هواء اخر ويمتزج بهِ فيكون الهواءُ المجاور للارض وسيلة لارسال الحرارة من الارض الى علو يناسب الحيوان والنبات وذلك علة لحدوث النسيم كما سياتي فسبحان المبدع

# الفصل الثالث

## في الرياح ورطوبة الجلد

٣٢٣ ان الهواء لكونهِ سيالاً تامًا يتحرك باعظم سهولة مما يتحرك اضبط الميازين عند عدم حصول الموازنة ولو بفرق طفيف جدًا . فيتحرك بالحرارة لانها تلطفهُ وبالنتيجة تجعل ثقلهُ النوعي اخف مما يجاورهُ فيصعد اذ يجري هواءٌ آخر اكثف الى مكانهِ لاجل رد التوازن اي انهُ عند عدم موازنة عواميد السائلات الهوائية الاثقل منها يدفع الاخف . وكذلك يتحرك بالبرودة لانهُ اذا زادت كثافتهُ بالبرودة يطلب النزول حينئذٍ لكون ثقلهُ النوعي اعظم فينزل الى ان يلتقي بهواء آخر من نفس كثافتهِ. وذلك نتيجة كونهِ سيالاً تامًا ومرنًا تاما

٣٢٤ ان ما ذكر علة لانسحاب مجرى من الهواء في الدواخين والستوفات . ولبيان ذلك نقول ان عمود الهواء فوق النار يكون قد تلطف بالحرارة فصار اقل كثافةً من العمود خارج النار الذي هو من نفس علوهِ فيضغطهُ الى اعلى ثم يصير هذا بالنار

اقل كثافةً وبضغطهُ عمود آخر وهلمّ جرًّا. فيجري سري ـ ائم من الاوضة التي تُضرَم فيها النار الى اعلى مارًّا على تلك النار وذلك يكون واسطة لزيادة اشتعالها كالنفخ ووسيلةً لاخراج الهواء البارد من الاوضة فتكون قد سخنت بالحرارة الموجودة فيهـا وباخراج الهواء البارد منها. وسبب صعود الدخان في الدواخين والقصاطل مع كونهِ اثقل من الهواء هو سرعة المجرى المذكور الذي يصادمهُ. اما كون الدخان اثقل فيظهر من انهُ اذا جعلنا مجرى منهُ يمر في ماء بارد بواسطة نفخهِ في انبوبة نراه يميل الى البقاء على وجه الماء. ثم انهُ اذا كان باب الستوف او الداخون متسعًا فلا يظهر نفخ الهواء لان سرعتهُ تقل كاتساع مجراهُ كما مر في السائلات. فيقتضي ان تكون القصاطل معتدلة الثخن لكي يسخن عمود الهواء بحرارة قليلة فيجري ويضرم النار. ويقتضي ان تكون ملساء لكي يكون فرك جوانبها على الهواء اقل لان الفرك يعيق الهواء اكثر مما يعيق السائلات غير المرنة. ثم لما كانت علة الحركة عدم توازن العمود خارج النار للعمود داخلها فكلما زاد برد هواء الاوضة زادت قوة مجرى الهواء لكون الثقل النوعي للعمود الخارج يزيد بزيادة البرد اذ يصير اكثف فيضغط بقوة اعظم وبالعكس اي كلما قلَّ البرد قلت القوة. ولذا اذا أُضرمت النار في الستوف حينما يكون الطقس

دافئًا يرجع الدخان ويملي الاوضة اذ يكون هواء القصاطل ابرد من هواء الاوضة

١٢٥ ان نسيم الهواء في البيوت يكون غالبًا مسببًا عن المبدا المذكور فبواسطة منافذ متقابلة للهواء كالشبابيك وخلافها يكون فرصة للهواء الخارج ان يزحم الهواء الداخل الخفيف الفاسد في المحل ويدفعهُ الى خارج فيحصل مجرًى من الهواء ولذلك الاوض التي تحمى باضرام ستوفات منغلقة هي اولى بان يجعل لها تدبير خصوصي لكي يلعب النسيم فيها من التي تحمى بواسطة نار مكشوفة. لان المجرى الذي يمر على النار المكشوفة قد يجعل التغيير اللازم. واذا كان داخون في حائط اوضة فالاحسن ان يجعل منفذٌ للهواء في الداخون في اعلى الاوضة اذ يجري الهواء الفاسد مع المجرى الحار فيهِ

شكل ١٣٦



وعلى هذا المبدا قد يجعل لحفر المعادن تحت الارض ابار من وجه الارض اليها على اعماق مختلفة مفتوحة لدخول الهواء الخارج اليها. ليكن ا و ب في (شكل ١٣٦) بيرين ينتهيان على ارتفاع مختلف على جانب جبل. ولما كانت الارض تبقى على درجة واحدة تقريبًا من الحرارة صيفًا وشتاء فالهواء داخل البيرين يبقى على درجة واحدة كذلك اذ

يكون الهواء الخارج اسخن في فصل الصيف وابرد في فصل الشتاء من الهواء داخل المعدن فيكون الطف في الفصل الاول من الهواء الداخل واكثف منهُ في الثاني . ليكن س عمودًا من الهواء فوق ب واصلاً الى علو ا فالعمود س اخف صيفًا من الهواء داخل الارض ولذلك ب وس اخف من ا ومجرى الهواء او النسيم يجري نازلاً في ا مارًّا على حفرة المعدن صاعدًا في ب وبذلك النسيم تنتعش فعلة المعادن . وفي الشتاء بما ان س اكثف من الهواء الداخل يكون مجموع ب وس اثقل من ا فتنعكس جهة مجرى الهواء اس اي ينزل في ب ويصعد في ا .

وانما في الربيع والخريف حينما تكون كثافة العواميد واحدة لكون درجة الحرارة داخل الارض وخارجها واحدة تقريبًا تحصل الموازنة بينهما فلا يتحرك الهواء ولذلك تشتكي الفعلة وقتئذٍ من حبس الهواء الخنّاق

٢٢٦ ينتج مما تقدم ان العلة الكبرى لتحريك الهواء اذ يجري رياحًا هي الحرارة والبرودة ومما يوءيد ذلك ما قال بعضهم انهُ اذا وُضع حجر حامٍ في اوضةٍ واطفانا سراجًا قربهُ نرى دخان فتيلة السراج يتحرك الى جهة الحجر ثم يصعد من عندهِ . فعدم الموازنة في الهواء الناتج عن الحرارة يحرك الهواء في مكان ما الى فوق اذ ياتي هواءٌ اخر على جهة افقية لكي يشغل ذلك المكان . ولم تُشاهَد حركة للهواء سوى على جهة افقية وعلة ذلك كون الهواء الاسفل هو الاكثف ولذا يملئ مكان الصاعد دون غيرهِ فاذا صعد الهواء بالحرارة في مكان ياتي الهواء الاسفل من مكان اخر فتحصل حركة افقية

٢٣٧ ان النسيم يحدث غالبًا في الاماكن المجاورة للبحر وبالاخص في جزائر المنطقة الحارة اذ يهبُّ من البر الى جهة البحر ليلاً ومن البحر الى جهة البر نهارًا . وسبب حدوثهِ هو انهُ عند شروق الشمس في صباح صافٍ تكتسب الارض كمية من الحرارة من اشعتها الواقعة عليها فيكتسب الهواءُ المجاور للارض جانبًا عظيمًا من تلك الحرارة بطريقة المجاورة والانعكاس فيتلطف ويطلب الصعود اذ يصير ثقلهُ النوعي اخف وعند ذلك ياتي هواءٌ من جهة البحر لكونهِ ابرد واثقل لمجاورتهِ للمياه فيحصل من ذلك النسيم البحري . وعكسهُ نسيم البر ليلاً اي انهُ اذ يبردِ هواءُ البر ليلاً ببرودة البر ويتلطف هواءُ البحر بحرارة البحر بداعي كونهِ يبُقي الحرارة مدة اطول من البر فياتي هواءٌ من جهة البر وهو ما يسمى بالنسيم البرِّي ويقال لهُ ايضًا نسيم الصبا . ومن حيث ان بعض الجزائر او الشطوط ذات الجبال تعكس جبالها كمية وافية من الحرارة لكونها تقابل الشمس يظهر فيها النسيم المذكور اكثر مما في غيرها . وهذا السبب نفسهُ هو علة دوام نسيم الاودية كما يشاهد عند رؤوسها اي ان الحرارة تنعكس بكمية وافرة من جانبي الوادي فتسبب حدوث نسيم دائم بموجب التعليل المذكور

٢٣٨ اما الرياح التجارية فهي المجاري الاعتيادية من الهواء

التي تهب في المنطقة الحارة وتجري من كلا القطبتين متجهة الى نحو خط الاستواء لكي تملي مكان الهواء الذي يصعد على الدوام بداعي الحرارة في المنطقة المذكورة وهي بداعي كون الارض كرة تدور على محورها تاتي في شمالي المنطقة الحارة عن شمال خط الاستواء من الشمال الشرقي وفي جنوبيها من الجنوب الشرقي. لانهُ لما كانت دواير العرض بدوران الارض الى الشرق تتزايد سرعتها با لاقتراب الى نحو خط الاستواء لتزايدها مع كون الدوران مشترك فالريح المنتقلة من عرضٍ شمالي الى نحو خط الاستواء اذ كان لها سرعة العرض الذي انتقلت منهُ تجتاز اماكن اعظم سرعةً منها الى الشرق فتنحرف هي الى الغرب فتظهر في شمالي خط الاستواء انها اتية من الشمال الشرقي . ولما كانت هذه الريح تنحرف في كل نقطةٍ الى نحو الغرب قليلاً فممرها خط منحنٍ ضرورةً.وهكذا يُعلل عن الريح الجنوبية الشرقية التي يغلب وقوعها في جنوبي المنطقة الحارة . وفي بعض الاماكن الريح تهب من الاصقاع الشمالية مدة ستة اشهر ثم من الجنوبية ستة اشهر اخرى وهكذا بالتداول بحسب اجتياز الشمس خط الاستواء ذهابًا وإيابًا وذلك كريح الموسم التي تحدث في جنوبي اسيا

ثم ان الهواء الذي يتصاعد من المنطقة الحارة يهب جاريًا

الى نحو القطبتين لاجل ردّ الموازنة . ولما كانت هذه المجاري الراجعة لها سرعة خط الاستواء تكون حركتها الى الشرق اسرع من خطوط العرض التي تمر بها فتميل الى الشرق وتصير ريحًا جنوبية غربية في نصف الكرة الشمالي وشمالية غربية في نصف الكرة الجنوبي . والغيوم العليا تدل على جهات هذه المجاري

اما رياح المنطقتين المعتدلتين فمتغيرة كثيرًا ولا ضابط لها اذ كانت خاضعة لتأثيرات اشياء مختلفة غير قياسية كشطوط البحر وسلاسل الجبال والغيوم التي تحجز احيانًا دون جانبٍ من نور الشمس وهلمّ جرًّا . وانما في خطوط العرض العليا من هاتين المنطقتين تظهر جليًّا المجاري العالية التى تاتي من نحو خط الاستواء اذ تسبب غالبًا ريحًا غربية

٣٣٩ اما سرعة الرياح فما يجري منها ١٠ اقدام كل ثانية يسمى نسيمًا . وما يجري بسرعة ١٦ قدمًا يسمى هبوبًا . وبعضها يجري بسرعة ٢٤ قدمًا كل ثانية فيسمى نافجة . وبعضها في ٣٥ قدمًا فتسمى عاصفًا . وبعضها في ٤٢ فتسمى زَعزعًا . وبعضها في ٥٤ فتسمى حاصبة. وبعضها في ٦٠ فتسمى زوبعة. وقد تمر الزوبعة احيانًا في الاقاليم الاستوائية في ٢٠٠ قدم كل ثانية. واذا لم تستوِ الزوبعة في هبوبها بل دارت وقلعت الاشجار او سقوف البيوت فهي

الهواء . اما مقاومة الهواء الساكن للرياح فتزيد بموجب زيادة مربع السرعة اي اذا كانت سرعة ريح مضاعف سرعة اخرى فمقاومة الاولى اربعة اضعاف مقاومة الثانية وقد مرَّ تعليل ذلك في الكلام على مقاومة السائلات

٢٤٠ قد قلنا فيما مران هواء الجلد ممزوج بكمية من البخار او الرطوبة . والان نقول ان تلك الرطوبة تزداد بتحويل مياه الارض الى بخار بحرارة الشمس وتصاعد ذلك البخار مع الهواء الحارّ الذي يكون قد امتزج بهِ . واعلم ان كمية الرطوبة التي يحملها الهواء تزداد بزيادة حرارة الهواء وذلك ليس على نسبة قياسية لان كمية الرطوبة تتضاعف بصعود الزيبق في الترمومتر ١٢° او ١٤° في الطقس الابرد وبصعودهِ ٢١° او ٢٢° في الاحرّ. ثم ان تبلُّل الهواء يتوقف ليس فقط على كمية الرطوبة بل ايضًا على الطقس لانهُ في طقس حار يقتضي رطوبة اكثر جدًّا مما في طقس بارد لجعل الهواء متبللاً على التساوي . فرطوبة الهواء في الصيف اوفر جدًّا مما هي في الشتاء ولكنهُ لا يُشعر بها صيفًا كما يشعر بها شتاء . ولهذا يشعر برطوبة الليل اعظم من النهار مع ان كمية البخار تكون متساوية في كليهما او اقل ليلاً. وعلى هذه الرطوبة وفعل الحرارة والبرودة يتوقف حصول الندى والصقيع والضباب والغيوم

والامطار والبَرَد والثلج فلنتقدم الي التعليل عن كلٍّ بمفرده

٢٤١ اما الندَى فيحدث من مجاورة الهواء القريب من سطح الارض لسطوح اجسام ابرد منهُ فينضغط بالبرودة وينعصر منهُ لذلك جانبٌ من الرطوبة التي تتحول بالبرودة الى ماءٍ بصورة نقط على السطوح المشار اليها. وذلك كما اذا ملأنا كباية ماءً وعرضناها ليلاً لهواء الجلَد فان الندى حينئذٍ يظهر على سطوحها الخارجة وذلك يرى ايضًا بنوعٍ جليّ على سطوح اوراق النبات والخُضَر في ايام الصيف . والندَى لا يقع وقوعًا ولكنهُ يتجمع من الهواء المجاور لسطح ابرد منهُ على السطح. ولما كان برد الاجسام علة الندى فالابرد يظهر عليهِ بزيادة ولذا يظهر على النبات اكثر مما على الرمال . ولما كانت الاجسام تتزايد برودتها ليلاً بزيادة ابتعاد الشمس يزداد الندى حينئذٍ اذ يجاور اجسامًا اعظم برودةً

٢٤٢ اما الصقيع وهو المعروف عند العامة بالملاَّح فيعلَّل عنهُ كما يعلَّل عن الندى غير ان السطح البارد الذي يجاورهُ الهواء اذ تكون برودتهُ تحت درجة الجليد المدلول عليها بالصفر في الترمومتر يظهر عليهِ الصقيع ولا يحدث صقيع الا اذا وجد ندى

٢٤٣ اما الضباب فيحصل من ملاقاة كمية من الهواء حاملةٍ بخار ماءٍ لهواءٍ آخر ابرد منهُ فالهواء السخن يكتسب البرودة

بالمجاورة فينضغط مع البخار الممزوج بهِ . وقد يتصاعد ذلك البخار من الارض وقد يكون موجودًا في الهواء . ففي صبحٍ بارد ينفثهُ الحيوان ويصعد من النهر او البحر او الينابيع . وفي الصيف يرى ذلك واضحًا صباحًا فوق الانهر او البحر . وذلك لانهُ لما كانت الاجسام تختلف في ايصال الحرارة اي في سيرِ الحرارة فيها كما سياتي في باب الحرارة وكانت الارض موصلاً للحرارة احسن من الماء فسطح الارض اذ تسري عنهُ الحرارة اسرع مما عن الماء بعد غياب الشمس يكون ليلاً ابرد من ماء البحر قليلاً وبالنتيجة يكون الهواء المجاور للارض ابرد من هواء البحر فالبخار الذي يصعد من البحر او النهر ويلتقي بهواء البر الذي هو ابرد منهُ يتحوَّل الى ضباب . وقد يظهر شيءٌ شبيه بالضباب بتنفس الحيوان في طقس بارد قرب الانف والفم . ثم ان الضباب يحدث في الاماكن البارده اكثر كثيرًا مما يحدث في الحارة التي لا يرى فيها الاَّ نادرًا

٢٤٤ اما الغيوم فتحصل بموجب المبدا المذكور للضباب غير انها تكون اعلى وهي مولفة ايضًا من البخار الذي يتصاعد من المياه او الاماكن الرطبة الى علوٍّ بحيث تكون درجة برودتهِ كافية لضغطهِ . او من البخار الذي كان في الهواء باختلاط مجرى من الرياح يخرج دائمًا من مكان حارٍّ باخر ابرد منهُ

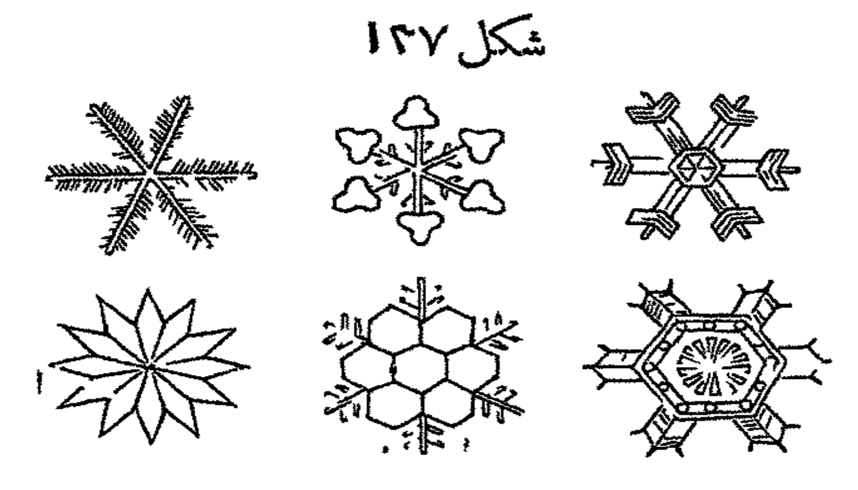
٢٤٥ اما المطر فيحدث من تبريد الهواء بغتةً اذ يكون محتويًا كمية وافرة من بخار الماء وذلك يحصل من مجاورة هواء بارد لهواء حار او غالبًا من تلاقي رياح باردة وحارَّة فينضغط الحار الحامل الرطوبة او الغيوم الكثيفة انضغاطًا كافيًا لوقوع المطر. وعلة تحريك هذه الرياح ازمهرار القطبتين والحر القادح عند المنطقة الحارة كما تقدَّم

٢٤٦ اما البَرَد فينتج متى التقى هواءٌ بارد جدًّا بنقط المطر وجمَّدها. فبعد نزول نقط المطر من التقاء هواء بارد بهواء حار كما تقدم تتحوَّل الى بَرَد اذا التقت بريح او هواء بارد جدًّا يجمدها. ويغلب حدوث البَرَد في جبال المنطقتين المعتدلتين لوقوعهما بين البارد والحار حيث يتيسَّر امتزاج الهواء البارد جدًّا بالهواء الحامل نقط المطر. ولا يكثر في المنطقة الحارة لقلة الهواء البارد ولا في المتجمدتين لقلة الهواء الحار. وكذلك بعض الاماكن المعتدلة تتميز بهذا الاعتبار على البعض الاخر كجنوبي فرانسا الواقع بين فرنيس ذات السهول الحارَّة وجبال البه المكتسية بالثلوج الدائمة فانهُ يكثر نزول البَرَد فيها

اما الثلج فيحدث من امتزاج هواء بارد جدًّا باخر حار بغتةً واذ تكون برودة الهواء البارد كافيةً لتحويل بخار الغيوم حالاً الى

مادةٍ جامدة تبلورهُ فيسقط بصورة ذروان وهذه اشكال الذروان المتبلوره

شكل ١٢٧

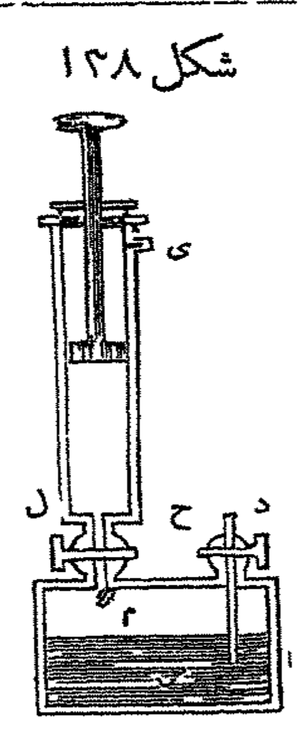


# الفصل الرابع

## في ضغط الهواء

٢٤٧ ان ارباب هذا الفن قد استعملوا ضغط الهواء لغايات جمة مفيدة للصنائع والاعمال بواسطة آلات مختلفة نذكر البعض منها . من تلك الالات ما يقال لهُ ضاغطة الهواء

وهذه الآلة اسطوانة مجوَّفة ومدك يدخل فيها . وللاسطوانة سدَّة او مصراع م يفتح الى خارجها كما يرى (شكل ١٢٧) . وقرب راس الاسطوانة عند ي فوهة على جانبها تقع عند اسفل المدك عندما يسحب الى اعلى الاسطوانة والقصد بها دخول الهواء منها ليملأ الخلاء الذي احدثهُ رفع المدك . فبتنزيل المدك بقوة يساق الهواء امامهُ ويخرج من المصراع م اسفل الاسطوانة . فاذا كان



شكل ١٢٨

اسفلها مدخلاً بقنينة او وعاء اخر ضاغطاً بواسطة برغي فالهواء المخرج من الاسطوانة المجوفة الى الوعاء اذ يمتنع رجوعهُ بالمصراع المذكور كما لا يخفى واذ يسحب المدك ثانيةً الى فوق الفوهة ي في الاسطوانة يقتحم هواء اخر منها فيُغتصَب بواسطة تنزيل المدك ثانيةً للدخول في الوعاء. وهكذا يمكن ان يكرر العمل الى غير نهاية. وبعض الاحيان يجعل مصراعٌ في المدك نفسهِ عوض الفوهة ي فيستغنى عنها. واحياناً يفتح ثقبتان عند ح ول لهما مصراعان ينفتحان الى داخل الاسطوانة لكي يدخل الهواء ولا يعود يخرج بواسطتهما. ثم بعد ضغط الهواء مقداراً كافياً تفتح الحنفية د الواصلة الى اسفل الوعاء م فيزرق الماء منها بسرعة شديدة من ضغط الهواء على وجههِ. فاذا وُضع صندوق مثل م مفتوح من اسفل في حوض يمكن ان يفرَّغ كلهُ بهذه الالة. ونوافير جزائر ايسلاند الشهيرة الطبيعية المعروفة بالجسيرات التي يرتقي بها الماء السخن الى علو ٢٠٠ قدم مصحوبة بقطع من صخور تجري على هذا المبدا لان ضغط الهواء الفاعل على وجه الماء داخل الارض يخرجهُ بهذه القوة وذلك الهواء الضاغط مهما كان نوعهُ فهو ناتجٌ عن فعل البركان

٢٤٨ وعلى هذا المبدا ايضاً قد اصطُنِعت بارودة الهواء التي يفعل فيها ضغط الهواء عوضاً عن البارود. فانهُ بواسطة ضاغطة ينضغط الهواء في كرةٍ معدنية مجوَّفة فيها مصراع عند فمها مسدود بواسطة برغي على البارودة تحت الديك فعند ما

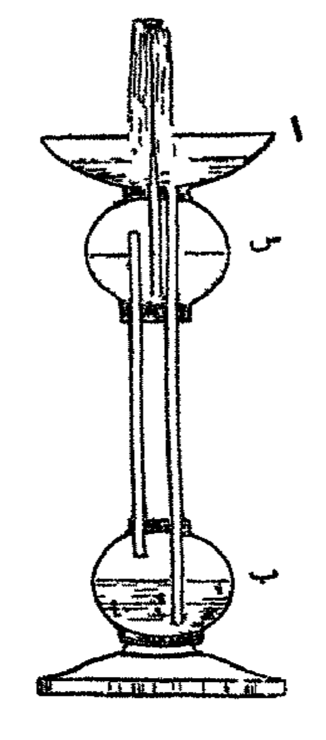
يفقس الديك يسقط على مسمار يدفعهُ على المصراع فينفتح حالاً ويخرج الهواء بسرعة قوية الى حديدة البارودة وبتمددهِ السريع يدفع الرصاصة دفعاً اشبه بدفع البارود لها

٣٤٩ من الآلات النافعة ايضاً التي تتوقف على ضغط الهواء ناقوس الغواصين وقد مر ذكرهُ في البداية

ومنها نافورة هيرو

وهي كما ترى في (شكل ١٢٨) فان عمود الماء من الوعاء ا يدخل الى وعاء الهواء ب ويضغط الهواء فيهِ ومقدار ضغطهِ بحسب علو اب ومن اعلى ب انبوبة او اثنتان يوصلان انضغاط الهواء الى وعاء اخر هوائي س المتلي الاَّ قليل ماء ولهُ انبوبة تصعد من اسفلهِ الى الوعاء ا في راسها حنفية . فاذ كانت قوة انضغاط الهواء في س تساويها في ب تصعد نافورة علوها اذا لم يعقها شيء يساوي العمود الضاغط اب

شكل ١٢٩

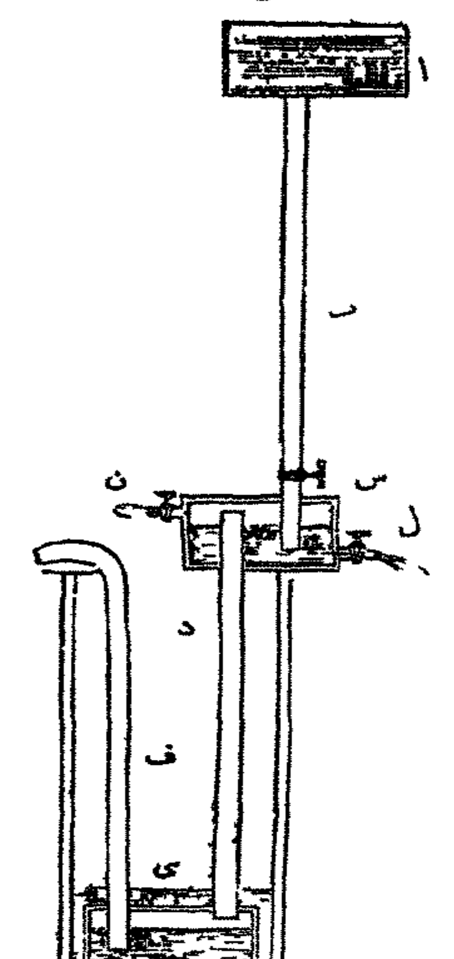



٣٥٠ والالة التي صُنِعت على هذا المبدا لاجل اخراج الماء من معدنٍ في هنكاريا سميت الالة الهنكارية

وهذه صورتها (شكل ١٢٩) . فانهُ يسهلُ في هذا الحال تنزيل مجرًى من الماء في انبوبة تنزل الى المعدن وتجعل ضغطاً قوتهُ كافية ان ترفع الماء من

المعدن الى علوٍ لازم ولئن يكن ذالك العلوُّ لا يصل الى راس حفرة المعدن لان ذالك قلما يلزم اذ يوصلون ماء الحفرة التي فيها الفعلة الى مكان يتفرغ فيهِ وقد يكفي لذالك مجرًى صغير. وفي معدن هنكاريا الماء المقتضي للضغط المطلوب علوهُ ٢٦٠ قدمًا فوق وجه الماء في الحفرة. ومن الحوض ا حيث تجمع الماء في اعلى الحفرة يدخل الماء الانبوبة العمودية ب التي تنزل الى قرب قعر اناء الهواء س. واذ يجري اليهِ الماء يضغط الهواء امامهُ الذي ببرونتهِ يفعل بقوة ضغط عمود الماء ب. وهذه القوة مرسلة في انبوبة الهواء د الى وجه الماء المحتوي في الصندوق ي المغطس في ماء المعدن الذي يدخل اليهِ الماء بواسطة مصراع في اسفلهِ يفتح الى فوق. وهذا الصندوق ووعاء الهواء س مصنوعان قويين وضابطين حتى لا يدخل الهواء. ومن قرب قعر الصندوق يخرج انبوبة عمودية ف تصل الى علو التفريغ

شكل ١٤٠




فيمكن الان ادراك فعل الآلة بسهولة. فانهُ يقتضي ان يرفع الماء ستة وتسعين قدمًا ويمكننا ان نستخدم عمودًا من الماء علوهُ مايتان وستون قدمًا ولكن لا داعي لاستعمال كل هذه القوة لان عمودًا من الماء بهذا الطول يقتضي انبوبة قوية جدًّا ولاسيما في الاجزاء السفلى منها. وعمود طولهُ مئة وستة وثلاثون قدمًا يوجد بالحساب كافيًا لرفع الماء في الحفرة الى العلوّ المطلوب ٦٩ قدمًا ويجعلهُ ان ينوفر بسرعة جسيمة الى مكان التفريغ. فعلى بعد مئة وستة وثلاثين قدمًا من الحوض يدخل وعاء هوائي س تفعل فيهِ كل قوة العمود ب على

الهواء المتضمن فيهِ الذي ينضغط الى ان يملي حيزًا صغيرًا في اعلى الوعاء فتزداد مرونتهُ بنسبة ضغطهِ كما مر . وهذه القوة بواسطة الانبوبة د ترسل الى وجه الماء في الصندوق وتدفعهُ في الانبوبة ف الى فوق التي تفرغهُ في مكان التفريغ . وبالاختصار يتضح مبدا الالة الهنكارية بهذه العبارة

الماء يرتفع بضغط عمود ماء اعلى من العمود المطلوب رفعهُ وعلى سطح اعلى اذ كان الضغط يُرسَل من العمود الواحد الى الآخر بواسطة الهواء المنضغط

ولما كان الماء ضمن الحوض ي يرتفع ويجري في الانبوبة ف فالضغط على ي يمكن رفعهُ بفتح الحنفية ن وتسكير ل . ثم بفتح ل وتسكير ن يرجع الماء وهكذا تدوم العملية

والامر المعجب في هذه الآلة الذي منهُ تظهر الحرارة واضحًا بضغط الاجسام والبرودة بتمددها كما سياتي هوانهُ عند ما يبطل التفريغ من الانبوبة ف اذا فُتِحت ن حنفية الوعاء س فالماء والهواء يخرجان بسرعة شديدة ونقط الماء تتحول الى برَد او قطع جليد . وهذا الامر يبيّن للمتفرجين الذين يضعون برانيطهم في طريق الهواء الخارج من الحنفية . والبرَد يخرج بسرعة شديدة فيثقب غالبًا البرنيطات كالرصاص . وعند بداية ضغط الهواء تظهر في هذه الآلة حرارة قوية

## ٣٥١ ومنها الجسر الهيدروليكي كما ترى في ( شكل ١٤٠ )

شكل ١٤١



اجزاءُ الجوهرية التي اصطُنِعت لرفع الماء بواسطة ضغط الهواء

فان ف انبوبة طويلة متحدّرة محتوية عند طرفها الاسفل مصراعًا م ينفتح الى اسفل . فعند ما ينصب الماء من ينبوع او نهر عدم سرعتهُ تزداد حتى يصير الزخم كافيًا لرفع المصراع فيسد الانبوبة. واذ كان الماء لا ينضغط فقوة كل العمود المتحركة تفعل بغتةً وتفتح المصراع مَ فيقتحم الماء الى وعاء الهواء صاعدًا في الانبوبة ت . ولمّا يبطل الزخم فالمصراع م ينزل بثقلهِ ويخرج منهُ المجرى ثم يتكرّر العمل . والهواء المنضغط في الوعاء ا بعد انغلاق المصراع مَ يساعد برفع الماء من الوعاء

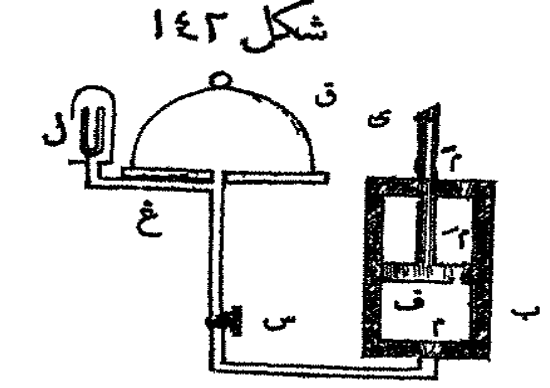
# الفصل الخامس

## في تفريغ الهواء والآلة المفرغة

٢٥٢ ان ثقل هواء الجلَد الوافر يجعلهُ ان يضغط الى كل الجهات على الاجسام بقوة شديدة كما يظهر ذلك من كبسهِ على وعاء فارغ منهُ كما سياتي. ولاجل تفريغ الهواء من وعاء قد اصطنعت آلة تسمى الآلة المفرّغة . وهي ذات هيئات مختلفة ولكن معناها واحد

فلنوضح في ( شكل ١٤١ ) الاجزاء الجوهرية من المفرغة ونصف كيفية تفريغ الهواء بواسطتها . ب برميل اسطواني فيهِ يشغّل المدك ف اي يُصعَد

وينزل بواسطة القضيب ي وهذا المدك مُدخَل في البرميل دخولاً محكماً لكي لا يدخل الهواء عن جوانبهِ




والقضيب يرفع بواسطة مخل ومن كعب البرميل انبوبةم س تصل الى صفيحة المفرغة الجالس عليها قابلةٌ من زجاج ق . ويقتضي ان يكون وجه الصفيحة وحافةُ القابلة سطحين مستقيمين تماماً لكي يلتصقا التصاقاً محكماً حتى يحجز الهواء عن الدخول . وطرف الانبوبة المتصل بالبرميل مغطّى بالمصراع م . وفي المدك ايضاً المصراع مَ . وفي بعض المفرغات مصراع ثالث مً عند الراس . وجميعها تفتح الى فوق اي من القابلة الى نحو الهواء الخارج فاذا رُفع المدك يُسَدُّ مصراعهُ مَ بثقل الهواء فوقهُ وحينئذٍ لكون الهواء في الانبوبة والقابلة الذي كان منضغطاً بثقل الجلَد يصير فراغٌ امامهُ في البرميل والقابلة تحجز الهواء الخارج عنهُ يتمدد بمرونتهِ فينفتح المصراع م ويدخل الى الفراغ ولذلك تقل مرونة الهواء في القابلة والانبوبة والبرميل وتكون واحدة في الثلاثة . ثم بتنزيل المدك ينضغط الهواء تحتهُ فينطبق المصراع م وينفتح مَ بضغط الهواء لما لا يخفى وعلى هذا الاسلوب يفرغ الهواء من قابلة الآلة لاجل اتمام بعض تجربات . ول مقياس الآلة وهو متصل بها بواسطة الانبوبة غ والمقصود بهِ معرفة كمية التفريغ وسياتي الكلام عليهِ

٣٥٢ ان تفريغ الهواء في هذه الآلة يزداد على نسبة او سلسلة هندسية . لنفرض سعة البرميل مثلاً تساوي تُسْع سعة القابلة مع الانبوبة المتصلة من القابلة الى البرميل فحينما يرتفع المدك اولاً من

أسفل الى اعلى فالهواء الذي كان قبلاً ما لئًا القابلة يتمدد فيتفرق بالتساوي في القابلة والبرميل . فالبرميل حينئذٍ يحتوي على عشر كل الهواء المتضمن في القابلة والانبوبة ويبقى فيهما تسعة اعشار . ثم بتنزيل المدك الى اسفل يخرج هذا العشر من مصراع المدك . ولما يرفع المدك فالهواء الباقي في القابلة الذي هو تسعة اعشار الكمية الاصلية يتوزع بالتساوي في القابلة والبرميل كالسابق وبالنتيجة يحتوي البرميل ١/١٠ من ٩/١٠ = ٩/١٠٠ من الكمية الاصلية ويبقى ٨١/١٠٠ في القابلة وبالامتداد في هذا الحساب يكون لنا الجدول الآتي

| عدد السحبات | الجزء من الهواء المخرج كل سحبة | الجز الباقي في القابلة | كل الكمية المخرجة |
|---|---|---|---|
| ١ | ١/١٠ | ٩/١٠ | ١/١٠ |
| ٢ | ٩/١٠٠ | ٨١/١٠٠ | ١٩/١٠٠ |
| ٣ | ٨١/١٠٠٠ | ٧٢٩/١٠٠٠ | ٢٧١/١٠٠٠ |
| ٤ | ٧٢٩/١٠٠٠٠ | ٦٥٦١/١٠٠٠٠ | ٣٤٣٩/١٠٠٠٠ |
| ٥ | ٦٥٦١/١٠٠٠٠٠ | ٥٩٠٤٩/١٠٠٠٠٠ | ٤٠٩٥١/١٠٠٠٠٠ |
| ٦ | ٥٩٠٤٩/١٠٠٠٠٠٠ | ٥٣١٤٤١/١٠٠٠٠٠٠ | ٤٦٨٥٥٩/١٠٠٠٠٠٠ |
| ٧ | ٥٣١٤٤١/١٠٠٠٠٠٠٠ | ٤٧٨٢٩٦٩/١٠٠٠٠٠٠٠ | ٥٢١٧٠٣١/١٠٠٠٠٠٠٠ |

الاعداد في العمود الثاني تدل على معدل التفريغ وانهُ لواضح انها تتألف من سلسلة هندسية ضاربها المشترك ٩/١٠ . كذلك الكميات

الباقية في القابلة بعد كل سحبة هي على سلسلة مثلها ضاربها المشترك يساوي ضارب الاولى . فبعد سبع سحبات الكمية الباقية في القابلة تصبح اقل من نصف الكمية الاصلية. ولو أُخِذ قابلة صغرى لكان معدل التفريغ اسرع جدًّا . مثالهُ لو كانت سعة القابلة مثل سعة البرميل لكانت السلسلة هكذا ١/٢ ١/٤ ١/٨ ١/١٦ ١/٣٢ ١/٦٤ ١/١٢٨ ١/٢٥٦ ١/٥١٢ ١/١٠٢٤ فيصير الهواءُ في القابلة اقل مما كان بالف مرَّة ونيف بسحب المدك عشر مرات

٢٥٤ لما كانت هذه السلسلة لن تنتهي فمن الواضح انهُ لا يمكن ان يصير فراغ تام بواسطة مفرغة الهواءِ. والذي يقطع الامل من تمام الفراغ هو ان الهواءَ عند ما يصير في القابلة لطيفًا جدًّا لا يبقى فيهِ مرونة كافية لترفع المصراع في قعر البرميل . واذا امكن ازالة هذا المحذور باحكام صنعة المصراع فلا يمكن ان تصنع مفاصل المصراع ضابطة ضبطًا تامًّا حتى لا يدخل فيها شيءٌ من الهواءِ مطلقًا . ولما كان الزيت المستعمل لاجل تدهين الآلة لتمشي بسهولة ياكل منها كثيرًا على طول المدَّة فقد تصطنع براميل بعض الآلات من زجاج وصفيحتها ومدكها من فولاذ غير انها تكون ثمينةً

٢٥٥ ان القابلة على المفرِغة عند ما يفرَّغ الهواءُ منها تضغط

على الصفيحة ضغطًا شديدًا وذلك لعظم ثقل الهواء فوقها الذي يضغط من جهة واحدة ولا منفذ لهُ الى الفراغ في الداخل . ولا يخفى انهُ اذا نفذ الهواء الى داخل القابلة فالضغط من داخل يساوي الذي من خارج فلا يظهر ثقل على القابلة ولا تلتصق بالصفيحة ولذا يجب ان تكون ضابطة عليها . ولذلك اذا وضعنا جلدة مستديرة مدهونة بشيء لزج على لوح خشب املس ورفعنا الجزء الاوسط منها بواسطة خيط مربوط فيها بدون ان يكون مدخل للهواء يلتصق دائرها باللوح لضغط الهواء عليهِ ولا ممر لهُ الى داخل

وبهذه الواسطة يمشي بعض الناس على السقوف منقلبين راسهم الى اسفل وارجلهم الى اعلى . فانهم يعلقون رجليهم بالمرس المربوط بالجلد الملتصق بالسقف بضغط الهواء عليهِ وعند ما يريدون نقل احدى رجليهم يفتحون بابًا للهواء من عند حرف الجلد وينقلونها الى ابعد اذ يبقون معلقين بالاخرى فيلصقونها ويتعلقون بها ثم ينقلون الاخرى على هذا الاسلوب وهكذا يتنقلون في فسحة طويلة

٢٥٦ اذا مَصَّ انسانٌ هواءَ داخل قنينة فانها تلتصق بفمهِ لهذا السبب عينهِ ويحسب . اذ ذاك انهُ في الانسان قد خلق

الله آلة مفرغة نظيرا التي شرحنا عنها . لان صدرَهُ كبرميل حينما يوسعهُ يتمدد الهواء فيهِ وفي القنِينة التي يضعها على فمهِ المشبهة قابلة . ثم حينما يُضيِّقهُ يخرج الهواء بطريق انفهِ وتكرار هذا العمل كتكرار سحبات المفرغة . ومثل ذلك عمل الحجَّام لانهُ بتسخين الهواء في المحجمة بواسطة اشعال شيء فيها وطبقها حينئذٍ على جسم الانسان يتمدد الهواء فيها بالحرارة ثم ينضغط بعد تبريدهِ في المحجمة فتقل كميتهُ ويتمدد باردًا واذ لا مدخل للهواء الخارج يكبس عليها ويرفع الجلد تحتها ويجذب الدم من الاماكن المجاورة اليها وبعد ذلك يحجمهُ الحجام . ومثل ذلك اذا ملأنا قنينة بخارًا ثم سددناها سدًّا ضابطًا فانهُ يظهر ضغط الهواء عليها بدفع سُدتها الى داخل وقس على ما ذكرناهُ ما لم نذكرهُ من الامثلة التى لا داعي للتطويل بتفصيل كل منها لمشابهتها

يظهر من هذه الآلة ان للهواء ضغطًا قويًّا على كل الاجسام ومقدار ذلك كما تقرَّر ١٥ ليبرة على كل عقدة مربَّعة . فالضغط على الجسم الانساني المتوسط يساوي نحو ٥٠ قنطارًا ونصف كما مر . ولكن لكون الهواء سائلاً ويضغط من كل الجهات لا يظهر ضغطهُ على شيء ممتلىء او صلد فلا يتعب الانسان ولكن عند ما يحصل فراغ يظهر الضغط . ودليلهُ انهُ اذا اخرج الانسان الهواء

من صدرهِ ثم سدَّ انفهُ وفمهُ فلا يعود يستطيع ان يوسع صدرهُ لضغط الهواءِ . وبداعي هذا الضغط نفسهِ يدخل الهواءِ الى كل السائلات ويملي مسام كل الاجسام الصلدة الا الاجسام الشديدة الكثافة كالذهب والبلاتين

ثم ان ضغط الهواءِ المذكور ينقص ميل السائلات للتحوُّل الى حالة البخار . فيزيد درجة غليانها. فالماءُ السخن الذي درجة حرارتهِ تحت حرارةِ الدم وهي ادنى كثيرًا من درجة الغليان يغلي تحت قابلة من مفرغة الهواءِ او في فراغ حاصل بطريقة اخرى . ولولا ضغط الجلد لاقتضى فقط حرارة ٧٢° عوضًا عن ٢١٢° لغليانهِ . وعلى ذلك تنقص درجة الغليان في الجبال العالية عنها في السهول التي هي على مساواة سطح البحر .ولذلك السوائل السريعة الميل للتحوُّل الى بخار قلما توجد في الطبيعة في حالة السيولة كالكحول والايثير

٢٥٧ ثم انهُ من هذه الآلة تظهر مرونة الهواءِ لان اصغر جزءٍ منهُ يمكن ان يتمدد الى حدٍّ لا يدرك بازالة الضغط الخارجي عنهُ. ومن الجهة الاخرى قد ضغط اهل هذا الفن الهواءَ بواسطة الكبس حتى صارت كثافتهُ اعظم من كثافة الماءِ مع كونهِ لا يزال في حالة المرونة غير منظور. فالهواءُ بداعي مرونتهِ يتحرك بادنى

سبب يبطل موازنتهُ سواءٌ كان بالتكثيف ام بالتلطيف . وقد عُمِلت تجربةٌ تظهر حركة الهواء جليًّا بالتلطيف وهي هذه . لتكن ا و ب كاسين كرويتين مسدودتين بعنقي نحاس عند ا و ب . واح ب انبوبة

شكل ١٤٢

نحاس يدخل طرفاها في عنقي الكاسين دخولاً محكمًا الى قرب قعري الكاسين . وعند ب ثقبة تتصل الى داخل الكاس ب . ولنفرض ا ملآنة الى نحو نصفها ماء و ب فارغة من الماء فيكون الهواء الذي فوق الماء في ا محصورًا من كل الجهات. فاذا وضعت هذه الآلة داخل قابلة المفرِغة وسُحِب الهواء من القابلة يتمدد الهواء او يفرغ من داخل الكاس ب ومن الانبوبة لاتصالها بالثقبة عند ب . واذ يكون الهواء في ا الحجز الماء بينهُ وبين الهواء المتمدد او الفراغ في ب يدفع الماء الى ب حيث المقاومة امامهُ قليلة جدًّا او معدومة فينتقل الماء الى ب لكي تصير المرونة متساوية في الكاسين . ولا يخفى انهُ اذا رُفعت القابلة ورجعت مرونة الهواء في ب كما كانت يرجع الماء من ب الى ا

ثم يظهر ايضًا ان الهواء ضروري للاشتعال لانهُ اذا فرَّغنا الهواء من قابلة ضمنها مصباح او نار تنطفئ. وضروري ايضًا

لتنفس الحيوان لانهُ اذا وضعنا حيوانًا داخل قابلة واخرجنا منها الهواء فانهُ يموت . والهواء هو الموصل الاعظم للصوت لانهُ اذا وضع جرس داخل قابلة الآلة المفرغة وافرغنا منها الهواء وقرعناهُ فلا يكاد يسمع صوتهُ كما سياتي في السمعيَّات . ويمكن ان يبين ايضًا بواسطة المفرغة ان ثقل الاجسام الحقيقي ينقص بواسطة كونها ضمن هذا السيال كما ان الاجسام الثقيلة تخف بغمسها في الماء كما عللنا عن ذلك في الثقل النوعي وفي السائلات . وان الاجسام الخفيفة تعوم فيهِ لعلة كون ثقلهِ النوعي اعظم وان الاجسام ذات الكثافات المختلفة كالريش والذهب وغير ذلك تسقط في فراغ الى نحو الارض بسرعة متساوية

٣٥٨ مما مر يمكن التلميذ ان يفهم مقياس المفرغة ل بسهولة (شكل ١٤١) . فانها قابلة من زجاج متصلة بانبوبة الآلة بواسطة الانبوبة غ. من ضمنها انبوبة زجاج منحنية ذراعها الايسر مسدود ملآن زيبقًا والايمن فارغٌ مفتوح . فلكون هذا المقياس متصلًا بانبوبة الآلة يفرَّغ الهواء منهُ عند ما يفرَّغ منها وحينئذٍ يقل ضغط الهواء عن اسفل الزيبق لكونهِ يتمدَّد في الذراع اليمنى فينزل الزيبق في الذراع اليسرى ويرتفع في اليمنى . وكلما قرب الفراغ الى التمام يقرب الى ان يكون عمودا الزيبق في الذراعين

على علوٍّ واحد حيث يتوازنان وبالعكس فبذلك يعرف الفراغ التام او القريب منهُ ولهذا سميت هذه القابلة والانبوبة من الزجاج التي ضمنها بمقياس الآلة

تنبيه . انهُ بداعي امكان حصول فراغٍ اما بواسطة تفريغ الهواء او بتكاثف البخار بتبريدهِ محصورًا في وعاء ولكون الهواء والبخار تظهر قوة ضغطهِ على شيء امامهُ فراغ صار هذان السائلان المرنان علةً لتشغيل وتحريك الات مختلفة . وكثير من الآلات الانفع تتوقف على مبادي السائلات غير المرنة والمرنة معًا فلذلك اعرضنا عن ذكرها الى الان . والان لنتقدم للبحث عن الآلات الهوائية وسنذكر ان شاء الله الآلة البخارية في باب الحرارة

## الفصل السادس

### في الآلات الهوائية

٣٥٩ المص . اذا مُلئت انبوبة منعكفة ذات ذراعين احداها طويلة والاخرى قصيرة من سائل وغُمِسَت فوهة الذراع القصرى في الماء فالسائل يجري في الذراع الطولى حتى يتفرَّغ ماء الوعاء الى فوهة القصرى فانبوبة كهذه يقال لها مص . ويمكن ان تملأ بالسائل

اما بغمس ذراعها القصرى فيهِ ومص الطولى بالفم او بسكبهِ فيها وبقاء طرفيها مسدودين الى ان تغمس الذراع القصرى في السائل فيتفرغ السائل في الذراع الطولى .

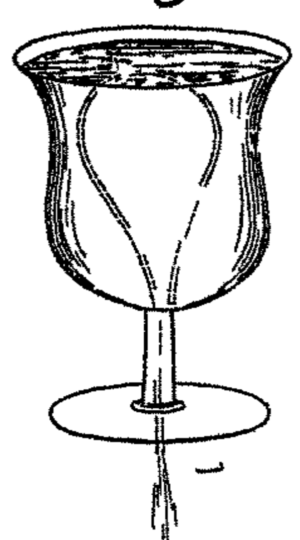
شكل ١٤٣

وتعليل الممص هو كما سياتي

الجلَد يضغط بالتساوي على فوهتي ذراعي الانبوبة ( شكل ١٤٣ ) ولكن هذا الضغط على فوهة الذراع الطولى يقل بزيادة عمود الماء فيها عن عمود القصرى فيبقى الضغط على العمود الاطول اقل مما هو على الاقصر فيجري السائل في تلك الجهة التي فيها تكون المقاومة اقل . واذ يجري الماء من فوهة ذراع الممص الطولى لا يحصل فراغ فيهِ لان ضغط الجلد على الماء في الوعاء اذ لا يقاومهُ الفراغ يدفعهُ امامهُ في الممص ما يتفرغ من الفوهة وذلك يسبب دوام جريانهِ حتى يهبط الى سطح فوهة الممص الداخلة

فلو كان علو الذراع القصرى اربعة وثلاثين قدمًا من الماء لوازن كل ضغط الجلد على وجه السائل فلا تبقى قوة لدفع الماء في الانبوبة . فالممص اذًا لا يمكن ان يرفع الماء الى علوٍ اعلى من ٣٤ قدمًا ولا الزيبق اعلى من نحو ثلاثين عقدةً . وانهُ لواضح ايضًا ان المخرج اي فوهة الذراع الطولى يجب ان تكون اوطئ من وجه الماء في الحوض لكي تمتص كل ما فيهِ من السائل فهذه الآلة لا يمكن ان تستعمل لرفع السائلات بل لتنزيلها ونقلها من وعاء الى وعاء . وتستعمل هذه الآلة بالاخص عند بائعي المسكرات بنقلها من برميل او دنٍ الى اخر. وقد تستعمل ايضًا احيانًا لنقل الماء من بير في ارض مرتفعة الى مكان اوطى او لحملهِ فوق تلة الى سطح اوطى على الجانب الاخر

٢٦٠ من الآلات الظريفة التي تظهر عمل الممص كاس مصنوع



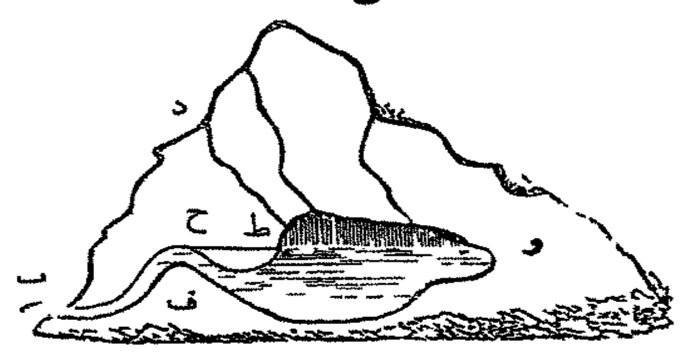
شكل ١٤٤

ضمنة ممص كما في ( شكل ١٤٤ ) . فان الذراع الطولى من الممص نافذة من قعر الكاس مثبتة فيهِ كما ترى وفوهة الذراع القصرى واصلة الى قرب قعرهِ . فاذا صبّ ماء في الكاس الى منحنى الممص يصعد في الذراع القصرى الى هناك ثم بدوام صبهِ ينسكب من فوهة الذراع الطولى ب . وبضغط الهواء الدائم على وجه الماء في الكاس يدوم جريان الماء في الممص الى ان يفرغ

٣٦١ ان الينابيع التي تجري ثم ينشف ماء مجراها في اوقات متوالية تجري على مبدا الممص

وللتعليل عن ذلك لنفرض ا ب في ( شكل ١٤٥ ) جبلاً و ف وحوضاً

شكل ١٤٥



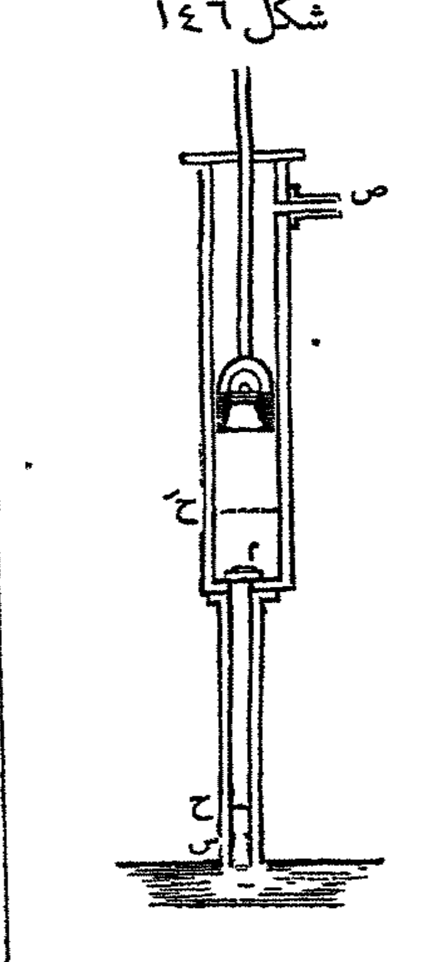

تجتمع فيهِ المياه من عدة اماكن في جهات مختلفة مثل ا التي عند د ولهُ مصرف على هيئة ممص مثل ف ح ب فواضح من السائلات ان الماء لا يتفرغ حتى يصل الى سطحٍ في الحوض على مساواة انحناء المصرف مثل سطح و ط ح وحينئذٍ ياخذ بالجريان ويدوم جارياً الى ان يهبط الماء الى السطح المساوي ف بداية الممص وبعد ذلك لا يتفرغ اكثر حتى يتجمع الماء في الحوض الى ان

يصل الى السطح الاعلى كما تقدم وهكذا يتفرغ ثم ينشف على التوالي

٣٦٢ طلمبا السحب الاعتيادية . ان هذه الآلة موءلفة من اسطوانتين فارغتين وموضوعة احداها تحت الاخرى وبينهما مصراع يفتح الى فوق فالاسطوانة السفلى المغموس طرفها الاسفل في الماء تسمى انبوبة المص . وفي الاسطوانة العليا مدك يتحرك الى فوق والى تحت من القعر الى فوهةٍ على جانب الاسطوانة قريبة من راسها وهذه الاسطوانة ما نسميها بانبوبة التفريغ

لنفرض ان المدك في بداية الثقل عند قعر انبوبة التفريغ ملتصقٌ بالمصراع م . فعند رفعهِ اذ يصير خلاءٌ ولا شيء يصد تمدُّد الهواء بمرونتهِ يرتفع الى فوق في انبوبة المص ويرفع المصراع ويتمدد حتى يملأ فسحة الخلاء ولولا ذلك لبقي تحت انبوبة التفريغ . وبهذه الواسطة يتلطف الهواء في انبوبة المص فوالحالة هذه لا يعود يستطيع ان يقاوم ضغط الجلد على سطح البير فيغلبهُ ضغط الجلَد ويدفع الماء في الانبوبة ويرفعهُ الى ان يضغط الهواء داخلاً وتصير مرونتهُ كافية لان تقاوم ضغط الهواء خارجها . فتكون مرونة الداخل حينئذٍ مثل مرونة الخارج . وحينما ينزل المدك يمتنع الهواء تحتهُ من الرجوع الى انبوبة المص بواسطة المصراع م الذي يطبق على فوهتها العليا

شكل ١٤٦



غير انهُ يهرب في مصراع في المدك نفسهِ مفتوحٍ الى فوق على نفس الاسلوب في مفرغة الهواء . واذ يرفع المدك ثانيةً يصعد عمود الماء الى اعلى بالسبب الذي ذُكر وهكذا حتى يخرج في المصراع م الى انبوبة التفريغ. ثم لما ينزل المدك يفتح الماء مصراعهُ ويصعد الى فوقهِ ومن ثم الى سطح الفوهة حيث يتفرغ . فيكون ملخص مبدا طلمبا السحب ان الماء يرتفع الى انبوبة التفريغ بضغط الجلد ومن ثمَّ يرتفع الى سطح الفوهة بواسطة المدك

تنبيه. لما كان عمود من الماء علوهُ اربعة وثلاثون قدماً في انبوبة المص يوازن كل ضغط الجلد على سطح بير لا تبقى قوةٌ تدفع العمود اعلى من ذلك ولذلك يقتضي ان يكون علو المصراع عند راس انبوبة المص اقل من اربعة وثلاثين قدماً فوق البير

٣٦٢ لنتقدم الآن الى البحث عن القوة المطلوبة في كل سحبة لرفع المدك غير ملتفتين الى ثقل المدك والقضبان وفعل الفرك. ليكن المدك عند م (شكل ١٤٤) وسطح الماء في انبوبة المص عند ح وليكن ع عدد الاقدام في س ح . فتكون قوة مرونة الهواء حينئذٍ في ب ح ضاغطة على كل عقدة مربعة بمقدار ثقل عمود من الماء قاعدتهُ عقدة مربعة وعلوهُ محسوباً اقداماً ٣٤ — ع لان ع تضغط ضد عمود الهواء خارج انبوبة المص الذي يساوي ٣٤ قدماً من الماء . ففي صعود المدك اذاً كل عقدة مربعة من قاعدتهِ تنضغط الى اعلى بهذه القوة. ولكنهُ من الجهة الاخرى مضغوطٌ الى تحت بكل قوة الجلد التي تساوي ثقل عمود من الماء لهُ نفس هذه القاعدة وعلوهُ اربعة وثلاثون قدماً . فالقوة التي تقاوم صعود المدك اذاً لكل عقدة مربعة هي ثقل عمود من الماء قاعدتهُ عقدة مربعة وعلوهُ الفرق بين اربعة وثلاثين قدماً و٣٤—ع قدماً اي ان القوة الفاعلة هي ع قدماً. فيظهر من ذلك انهُ يقتضي قوة لرفع المدك متساوية تماماً لثقل عمود من الماء قاعدتهُ تساوي قاعدة المدك وعلوهُ

مثل علو الماء في انبوبة المص فوق سطح الماء في البير . فينتج انهُ كلما صعد الماء في انبوبة المص تزداد بنسبة ذلك القوة المطلوبة لرفع المدك

ثم لنلتفت الى القوة المطلوبة لرفع المدك في الجزء الثاني من العملية اعني حينما يكون الماء المرفوع قد اجتاز مصراع المدك . ليكن المدك عند م (شكل ١٤٦) وسطح الماء عند حَ فالضغط الى اسفل على المدك هو بدون شك والحالة هذه ثقل الماء المستقر عليهِ وهو ب حَ مع ثقل الجلد . لتكن ع عدة الاقدام في العلو ب حَ فتكون ٣٤+ع تدل على عدد الاقدام في عمود من ماء قاعدتهُ تساوي قاعدة المدك وثقله مساوٍ لكل الضغط الى اسفل على المدك

ثم من جهة الاخرى الضغط الى اعلى يحصل بثقل الجلد الضاغط على الماء في الحوض المرسل في عمود س ب الى السطح الاسفل من المدك. ولكن اذ كان هذا الضغط لا بد ان يحمل العمود ب س يجب ان نطرح منهُ ثقل هذا العمود لكي نحصل على الضغط الفاعل الى فوق على المدك. فمن عمود ماء علوهُ ٣٤ قدمًا وقاعدتهُ تساوي قاعدة المدك اطرح الكمية من الاقدام ب س فيحصل لنا عمود ثقلهُ يساوي الضغط الى اعلى. والفرق بين الضغط الى اسفل والضغط الى اعلى هو القوة اللازمة لرفع المدك

الضغط الى اسفل = ٣٤+ع

 « اعلى = ٣٤ — ب س

الباقي ع + ب س

ولكن ع + ب س = حَ ب + ب س = حَ س

فيظهر من ذلك ان القوة اللازمة لرفع المدك سواءٌ كان الماء في انبوبة المص ام ارتفع الى انبوبة التفريغ هي ثقل عمودٍ من الماء علوهُ مثل علو العمود فوق سطح الماء في البير وقاعدتهُ تساوي قاعدة المدك . فهذه القوة

اذًا من بداية العملية يقتضي ان تزداد على الدوام حتى يرفع سطح الماء الى الفوهة المفرِغة ومن ثمَّ يبقى يتفرَّغ دائمًا

من الملاحظات المذكورة يتضح انهُ يلزم لرفع الماء بواسطة ضغط الجلَد نفس القوة اللازمة لرفعهِ بدونهِ فلا ربح من ضغط الجلد . غير ان هذه الطريقة لرفعهِ من بير هي غالبًا انسب من رفعهِ بدلو مع ان القوة التي يقتضيها الرفع هي واحدة على كلا الحالين

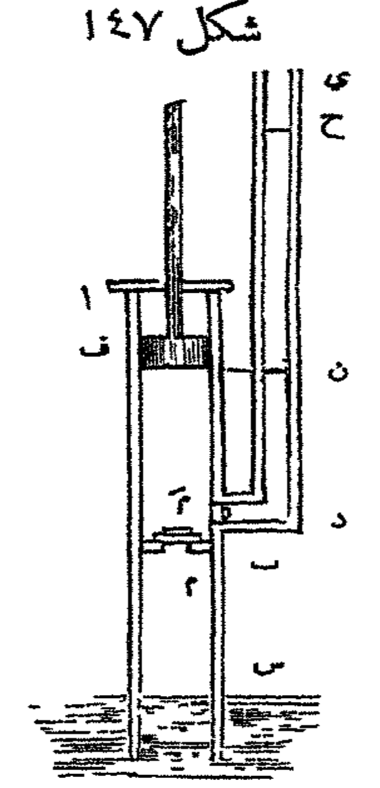
لكي نحسب القوة الحقيقية اللازمة لتشغيل طلمبا بدون التفات الى قضبانها . لنفرض علو فوهة مفرغة من فوق سطح الماء في بير من جنس الاقدام ولنفرض عدة تلك الاقدام ع . وليكن قطر المدك الذي هو اجزاء من قدم ق . فقاعدة المدك التي يُدَلُّ عليها بكسر من قدم مربع يكون ق٢ × ٠٫٧٨٥٤ وان ضُرِب هذا الحاصل في عدد الاقدام للعلوع يكون لنا عدة الاقدام المكعبة من الماء الذي يقتضي ان يرفع في كل سحبة الذي يساوي ق٢ × ٠٫٧٨٥٤ × ع . وانما قدم مكعب من الماء وزنهُ نحو ٦٢ ١/٢ ليبرة فاذًا ق٢ × ٠٫٧٨٥٤ × ع × ٦٢ ١/٢ = عدد الليبرات اللازمة عند كل سحبة لرفع المدك

ان عمود الماء المفرَّغ في كل سحبة يساوي عمودًا من الماء قاعدتهُ قطع المدك وطولهُ طول السحبة . فتوجد الكمية من الاقدام المكعبة بضرب ق٢ × ٠٫٧٨٥٤ في عدة الاقدام لطول السحبة ويعلم ثقل الماء المفرَّغ من الليبرات بضرب هذا الحاصل في ٦٢ ١/٢

١٦٤ طلمبا الكبس . هي كما في ( شكل ١٤٧ ) اسطوانة ا ب س موضوع طرفها الاسفل س في حوض . لها مصراع عند م يفتح الى فوق ومدك مصمت بدون مصراع داخل في البرميل الاعلى ا ب دخولاً محكمًا يلعب

فيهِ . وهذا البرميل متصل بانبوبة التفريغ د ي بينهما مصراع مَ ينفتح الى فوق والى خارج . وهذه الانبوبة د ي يمكن مدها الى اي علوٍ يلزم لرفع الماء . لنفرض ان المدك ملاصق المصراع م وان الماء في البرميل الاسفل سطحهُ عند س على مساواة سطح ماء البير . فعند رفع المدك الهواء في ب س يتلطف والماء يرتفع في ب س كما يرتفع في طلمبا السحب بالتمام. ثم بكبس المدك ايضاً ينضغط الهواء في ف م فيشد على المصراع مَ ويفتحهُ وينفذ منهُ . فترى ان العملية هنا تجري مجرى طلمبا السحب الى ان يصعد الماء في م الى البرميل الاعلى اذ يكون المصراع مَ مكان

شكل ١٤٧




مصراع المدك في تلك الآلة . فلنفرض ان الماء ارتفع في م وان الفسحة ف م ممتلئة منهُ . فعند كبس المدك اذ لم يكن فرصة لهذا الماء ان يرجع في م يندفع في مَ ويصعد في الانبوبة د ي. وبمداومة العملية يجمع الماء في الانبوبة د ي حتى يصل الى العلو اللازم ويتفرَّغ. ولايضاح مبدا هذه الآلة بكلام وجيز نقول انهُ في طلمبا الكبس لا مصراع للمدك ولكنهُ اذ كان الماء يرتفع في انبوبة المص كما في طلمبا السحب يُكبَس عليهِ حينئذٍ بتنزيل المدك فيصعد في انبوبة التفريغ في مصراع عند اسفلها

٣٦٥ ان القوة التي يقتضيها رفع المدك في هذه الطلمبا الى ان يصل الماء الى اعلاها يجري حسابها على اسلوب طلمبا السحب بموجب البرهان نفسهِ . وهي اذا اسقطنا ثقل المدك وقضيبهِ وفعل الفرك تساوي ثقل عمود من الماء قاعدتهُ قاعدة المدك وعلوهُ بعد سطح الماء في البرميل ا س عن سطحهِ في البير.

وانهٔ لواضح ايضًا ما قيل في طلمبا السحب ان المصراع م يقتضي ان يكون علوهُ اقل من اربعة وثلاثين قدمًا فوق سطح الماء في البئر. فان كانت ث تدل على ثقل المدك وقضيبهِ من الليبرات وق قطر قاعدة المدك الذي يدل على اجزاء من قدم وع عدد الاقدام في اس فالقوّة اللازمة لرفع المدك تكون

ع × ق^٢ × ٠٫٧٨٥٤ × ٦٢٫٥ + ث من الليبرات

٢٦٦ والان لنبحث عن القوة اللازمة لكبس المدك . ليكن ح وجه الماء في ي د فالضغط الجلَدي على ح يوازنهُ الضغط على المدك من فوق بمقتضى قانون ارسال الضغط في السائلات . فلنغضَّ النظر اذًا عن هذه القوة. وايضًا الجزء ف مَ يوازن الجزء ن د من العمود الصاعد فلا نلتفت اليهما . فيظهر ان كبس ماء ف م على السطح الاسفل من المدك يساوي ثقل عمود من الماء قاعدتهُ تساوي قاعدة المدك وعلوهُ ح ن. فهذه القوة هي التي يقتضي ان تغلب في تنزيل المدك وثقل المدك ف وقضيبهِ يساعدان في ذلك وليكن هذا الثقل ث. لتكن عَ عدد الاقدام في ح ن فالقوة الميكانيكية اللازمة لكبس المدك يعبر عنها من الليبرات بهذه العبارة

عَ × ق^٢ × ٠٫٧٨٩٤ × ٦٢٫٥ — ث

٢٦٧ من هذه الملاحظات يظهر ان ثقل المدك وقضيبهِ يعين قوة الكبس للآلة ولكنهُ يضاد قوة السحب فمفعولا الثقل بالنظر الى هاتين القوتين يخالف احدهما الآخر

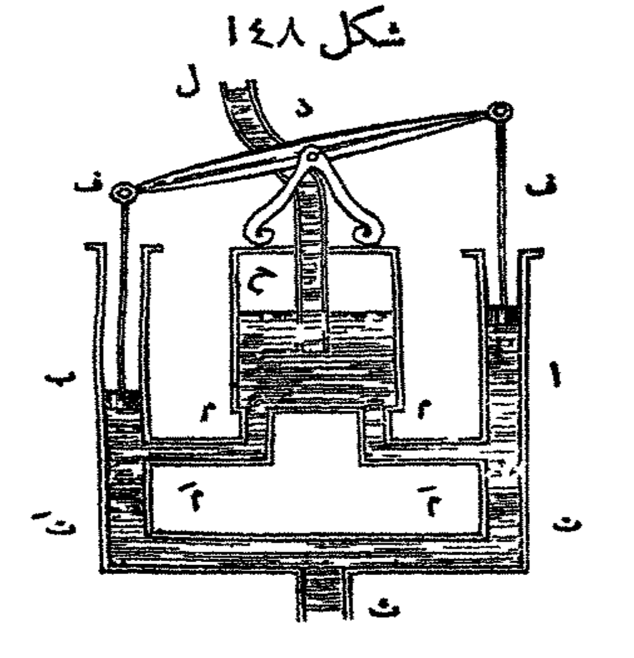
ان كل القوة المستعملة لرفع الماء توجد باضافة القوة اللازمة لرفع المدك الى اللازمة لكبسهِ . ولما كان والحالة هذه ثقل المدك وقضيبهِ يزيد الواحدة كما ينقص الاخرى فكل القوة تكون ثقل عمودٍ من الماء قاعدتهُ قاعدة المدك وعلوهُ ف س + ح ن اي علو سطح الماء في الأنبوبة العليا فوق سطح الماء في البير وذلك يساوي من الليبرات ( ع + عَ ) × ٠٫٧٨٥٤ × ق^٢ × ٦٢٫٥

فيظهر من ذلك انهُ اذا اتفقت ظروف طلمبا الكبس وطلمبا السحب فلهذه مزية على تلك بانهُ لا فعل لثقل المدك وقضيبهِ لما مرَّ . واذا كان الماءُ الذي يراد سحبهُ اعمق من ٣٤ قدماً او نحوه ١٠ اذراعاً كما في بعض الابار البواين فلا تصلح لهُ الاَّ طلمبا السحب لما مرَّ

٣٦٨ انهُ في طلمبات الكبس اذا كانت القوة تفعل دفعات منقطعة يخرج الماءُ زرقاتٍ ما لم يُعَمل تدبيرًا لدوام جريانهِ على التساوي . وذلك قد اصطنع بواسطة وعاءٍ هوائي ينضغط فيهِ جزءٌ من الهواءِ فيكون واسطة لدوام الجريان . فان قوة المدك في سحباتٍ متوالية تصل الى هذا الهواءِ المنحصر وهو بمرونتهِ يفعل على سطح الماءِ في وعاءِ الهواءِ ويدفعهُ الى خارج بواسطة انبوبة او فوهة

وذلك يظهر من آلة النار كما يرى في ( شكل ١٤٨ ) فانها مركبة من طلمبين للكبس يرميان الماءَ الى وعاءٍ فيهِ هواءٌ الذي منهُ ينتشب من الفوهة بعزم مرونة الهواءِ المنضغط . مثالهُ ا و ب طلمبيان مدكاهما ف ف يشغلان بعصاً دارِكها عند د و م م هما مصراعان ينفتحان الى فوق من انبوبة المصِّ ث المتصلة بحوضٍ و ث تَ انابيب تتصل بالوعاءِ الهوائي ح بواسطة

شكل ١٤٨



المصراعين مَ مَ . وتدخل الانبوبة ل في راس هذا الوعاء وهي تتصل بانبوبة من جلد يندفع فيها الماء بكبس الهواء المحصور في ح الذي بسبب مرونته يفعل بالتساوي تقريبًا على سطح الماء ويدفعهُ في الفوهة ل بمجرًى دائمٍ. وسميت هذه الآلة بآلة النار لانها تستعمل لاطفاء النار عند حدوث الحريق اذ كانت تدفع الماء بكمية وافرة الى علوٍّ كافٍ



# الباب السادس

## في السمعيات وفيهِ مقدمة وخمسة فصول

### المقدمة

### في تحديد السمعيات وفي الصوت وتولدهِ

٣٦٩ السمعيَّات فنٌّ من الفلسفة يبحث فيهِ عن طبيعة ونواميس الصوت. وموضوعهُ تولد الاصوات وانتقالها في موصلات مختلفة وانعكاسها عن سطوحٍ ومبادي الموسيقي الفلسفية

الصوت. هُوَ ارتجاف في الاجسام ينقلهُ الى الاذن تموُّجٌ ينشأُ عن ذلك الارتجاف في مادَّةٍ اخرى كالهواء توصل بين الجسم وبينها فيشعر بهِ السمع. وتلك المادة التي تنقل الاصوات الى السمع يقال لها موصل. وغالبًا يكون الهواء موصلاً للصوت وهو من المواد الانسب للسمع لكونهِ من الطفها فلا يضر بالاذن ومن اسهلها واسرعها حركةً لاجتماع صفتي المرونة والسيولة فيهِ. وقد تكون مادة غير الهواء موصلة للصوت كالماء وغيرهِ كما سياتي

٢٧٠ تولُّد الصوت . انهم قد تحققوا من ملاحظات مدققة ان اهتزازات الجسم المصوت والموصل المحيط بهِ ضرورية للسمع لان المادة المهتزة تفعل على الهواء فتحركهُ وتنبعث حركتهُ بالتموُّج الى عضو السمع . فقد يشعر بحركة الهواء الناشئة عن اهتزازات الجسم في صوت طويل كصوت الجرس او صوت وتر قوس . فاذا قُرِع جرس ثم ثُبِّت بحيث يستقر لسانهُ على حافتهِ تُسمَع الاهتزازات جليًّا واوتار الاقواس يرى واضحًا ارتجافها بعد الضرب عليها وحركات الجرس الى امام والى خلف تبقى منظورةً ما دام الصوت المرسل منهُ مسموعًا . واذا وضع جرسٌ في قابلة مفرغة الهواء واخرج الهواء من القابلة فاذا دق يسمع لهُ صوت خفي عند بقاء قليل من الهواء في القابلة ويتلاشى عند حصول الفراغ التام. واذا لم تقرع على جسم او تضرب عليهِ فلا يمكن ان يحصل حركةٌ

# الفصل الاول

## في انتقال الاصوات

٢٧١ قد اشرنا فيما مر انهُ يلزم لاجل ايصال الصوت الى الاذن موصل كالهواء لكي يبعث ارتجاف الجسم المصوِّت اليهــا

وان الموصل الغالب هو الهواء . فنقول الان ان اهتزاز الجسم بمصادمتهِ للهواء المحيط بهِ يحدث تموجًا فيهِ الى كل الجهات وذلك التموج يمتد في سيرهِ ويصير اضعف فاضعف حتى يبطل كتموّج السائلات اذا رمينا فيها حجرًا كما اشرنا سابقًا . ودليل امتدادهِ الى كل الجهات ان الصوت الناشىء عن ارتجاج الجسم يسمع الى كل جهةٍ . ودليل انتهاء التموج ان الصوت يصل الى بعد معلوم فينقطع ولا يتجاوزهُ الى ابعد

٢٧٢ ثم ان كثافة الصوت تتناقص بتناقص كثافة الهواء ولهذا تسمع الاصوات ضعيفة على الجبال العالية بداعي لطافة الهواء هناك . وقد ذكر بعض الذين صعدوا في البلون الى نحو ٧٠٠٠ متراي نحو ١٠٠٠٠ ذراع انهُ كان صوتهُ لا يكاد يسمع هناك . وبالعكس تتعالى الاصوات كازدياد الكثافة فان ناقوس الغوّاصين المغطّس في الماء تتاذى الاذن من سماع الوسوسة فيهِ لزيادة كثافة الهواء بضغط الماء عليهِ

٢٧٣ اما سرعة سير الصوت فقد عُرِف من امتحانات شتى مدققة ان معدَّل سيرهِ ١٠٨٩،٤٢ قدمًا في الثانية عند ٣٢° ف اي عند درجة الجليد . واذا كان الهواء احر تكون حركتهُ اسرع وبالعكس اذا كان باردًا بمقدار ١،١٤ قدم لكل درجة في الثانية

فاذاً في الطقس الذي يكون ٢٣٠٦٠ ف يجري ١١٢٤،١٩ قدم في الثانية او ١١٣٠ تقريبًا . ولكون النور اسرع في سيره من الصوت بما لا يوصف يظهر لمعان بريق مدفع أُطلق عن بعد قبل سماع صوت الطلق . وكذلك يظهر بريق الصاعقة قبل سماع الرعد بمدة جملة ثوان ولكون مدة وصول البرق من رعدٍ الينا هي كلاشيء لقرب المسافة بالنظر الى سرعة النور فاذا لاحظنا عدة الثواني بين وصول البرق وبين الصوت وضربناها في ١١٣٠ يحصل لنا بعد ذلك الرعد . ثم اذا هبت الريح الى جهة سير الصوت فتضاف سرعتها الى سرعة الصوت وتطرح اذا هبت الى جهة متقابلة . غير ان ذلك لا يجعل الاَّ فرقًا طفيفًا اذ كان الصوت اسرع من الرياح الاعتيادية من ٥٠ الى ١٠٠ مرة . ولا يؤثر في سرعة الصوت خلاف ما ذُكر وهو درجة الحرارة والرياح فسواءٌ كان الهواء خفيفًا او ثقيلاً رطبًا او ناشفًا معدل ذلك واحد . وسقوط الثلوج يقصر امتداد الصوت الى بعدٍ ويصير اضعف على بعد مفروض ولكنهُ لا ينقص سرعتهُ . وجميع انواع الاصوات عاليةً كانت ام منخفضة خفيفة ام كثيفة تتحرك بسرعة واحدة . اما كون الالحان العالية والوطيئة في الموسيقي تجري بسرعة واحدة فقد تبرهن بتغنية نغمات ما لوفة على فلوت عند طرف انبوبة طولها

اكثر من نصف ميل وأُصغي اليها عند الطرف الاخر فلم يحصل اضطِرابٌ في تتابع الالحان الوطيئة والعالية كما يحدث اذا تحركت بسرعاتٍ مختلفة

٢٧٤ ان الاصوات تكون اعلى وتسمع عن بعد ابعد في الجهة التي يجري فيها الجسم المصوِّت المصادم للهواء او التي يجري فيها الهواء الذي يموِّج ما حولهُ من الهواء . فصوت مدفع مثلاً يسمع الى ابعد في الجهة التي اطلق فيها والمتكلم في الهواء البعد الاعظم الذي في نهايتهِ يسمعهُ من هو امامهُ اعظم من ثلاثة اضعاف البعد الاعظم الذي يسمعهُ في نهايتهِ من خلفهِ وذلك لان الهواء الخارج من فمهِ الذي يكون قد تموَّج بحركة اوتار الحنجرة لا سبيل لهُ ان يجري في بداية تموُّجهِ الاَّ الى قدام فيضعف تموُّجهُ بعد خروجهِ من الفم الى جهة خلف وهكذا يقال في مجرى الهواء الذي يموِّجهُ بارود المدفع

٢٧٥ اذا حُصر الصوت لكي يجري الى جهة واحدة كما اذا جرى في انبوبة يجري الى ابعد في الجهة التي ينحصر جريانهُ فيها . فان صوت الفلوت سُمع واضحًا الى ابعد من نصف ميل بارسالهِ في انبوبة طويلة . والقُرَين السمعي الذي يستعمل لاجل المناجاة في غرف بناءٍ واسعٍ او مركبٍ كبير متصلاً من غرفةٍ الى اخرى

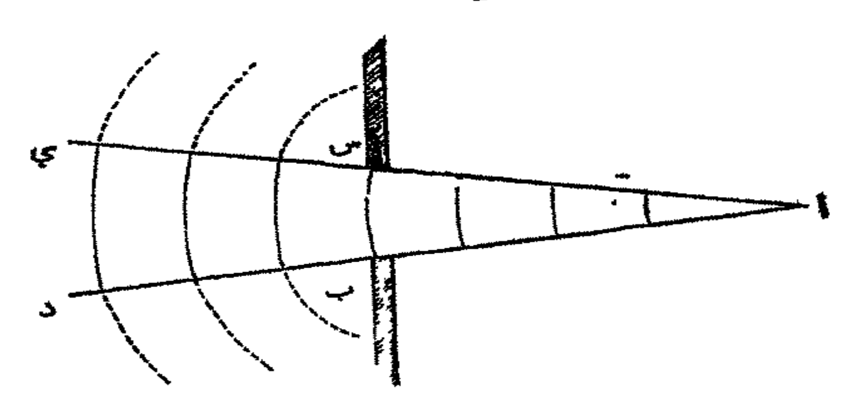
شكل ١٤٩

بواسطة انابيب هو ذو منفعة عظيمة لايصال صوت التكلم الى الغرف وهذه صورتهُ

٢٧٦ اذا مرَّ الصوت في ثقبٍ لا ينحصر كل الانحصار داخل الخطوط المستقيمة المرسومة من مكان الصوت مارة بجدود الثقب ولكنهُ يمتدُّ قليلاً الى الجوانب

مثالهُ في هذا الشكل اذا صدر الصوت من ا ومرَّ في الثقب ب س فالشخص بين ب د وس ي يسمع الصوت جليًّا . ولكن حالما يجتاز احد

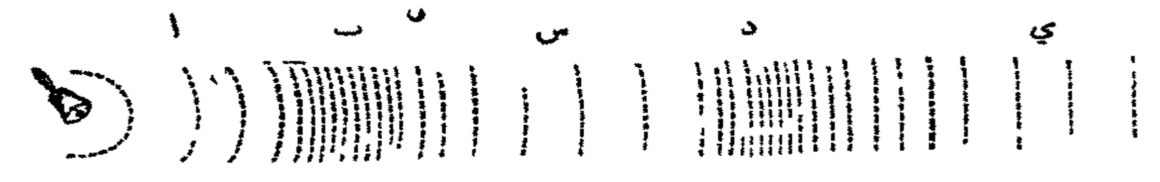
شكل ١٥٠




هذين الخطين الى خارجهما يشعر بان الصوت قد ضعف ولكنهُ لم يتلاشَ . فانهُ يتوزع قليلاً منهُ خارج هذين الخطين كأَن ب وس مصدران لهُ

٢٧٧ قد تقدم الكلام في السائلات انهُ في تموُّج المياه دقائق الماء تصعد وتهبط اذ تتحرك الامواج المحتوية تلك الدقائق الى

شكل ١٥١



جهة افقية على سطح الماء فيجزي تموّج الدقائق في السائلات غير المرنة الى جهة معارضة لجهة حركة الامواج . واما التموج الذي يحدث بانتقال الصوت فيختلف عن ذلك لان دقائق الهواء تموج في خط حركة الامواج فلا يكون في التموّج علو وانخفاض بل يحصل تكاثف وتلاطف

ففي ( شكل ١٥١ ) تظهر حالة تموّج الهواء حول مركزٍ . فعند ب و د يتكاثف الهواء وعند ا وس وي يتلطف . وكيفية ذلك ان الدقائق تندفع من مركز الصوت فتزدحم قدامهُ عند ب فتحدث تكاثف هناك . والتي عند ب تندفع بقوة المرونة وتزحم التي امامها وهلمَّ جرًّا فيمتد التموج على هذا الاسلوب الى حيث يتلاشى كامواج الماء . وانما التكاثف عند ب يجعل الدقائق المزدحمة في تلك النقطة تتلطف اذ تتحرك التي امامها الى قدام فتتفرق الدقائق في لحظةٍ واحدة كما تكون قد ازدحمت بعضها على بعض في اللحظة السابقة . وهذه التكاثفات والتلاطفات المتتابعة تمتد من مصدر الصوت الى كل الجهات بسرعة نحو ١١٠٠ قدم كل ثانية كما مر . ولكن اذ تتقدم بسرعةٍ كهذه تتحرك الدقائق التي تتالف منها الامواج الى الامام والى الوراء في نفس الخطوط التي تتحرك فيها الامواج . واذ كانت الامواج تنبعث من المركز بسرعة متساوية الى كل الجهات فيكون كلٌّ منها ذات سطح كروي مركزهُ مصدر الصوت

٣٧٨ قد قلنا ان الموصل الغالب للصوت هو الهواء ولكن جميع المواد المرنة سواءٌ كانت غازية ام سائلة ام جامدة تصلح لنقل الصوت غير ان السرعة التي تسير بها الامواج تختلف في موصلات

مختلفة . ويتبين ان كل الغازات والبخارات توصل الصوت من انهُ اذا استُخرِج الهواء من قابلة فيها جرص حتى لا يعود يسمع قرعهُ ثم ملئت القابلة بمادة غازية مهما كانت وقُرِع الجرص حينئذٍ يسمع صوتهُ ايضاً . والسائلات ايضاً هي موصلة جيدة للصوت لان الجرص الذي يقرع تحت الماء يسمع الى بعد عظيم فيهِ . وفي سنة ١٨٢٦ عمل المعلم كولاّدون تجربات مدققة في ماء بحيرة جنيفا فوجد انهُ اذا قُرِع جرص في الماء فالصوت لا يتجاوز الماء فيسمع في الهواء الاّ اذا كانت الاذن قريبة من الجرص . ولكن الصوت اذا نزِّلت انبوبة من تنك مسدودة من اسفلها في الماء ووقع عمودياً على جدارها يدخل الى الهواء داخلها ويسمع عن بعد كما يسمع بوضع الاذن تحت الماء تقريباً . وكذلك تحقق انهُ لما تكون حرارة الماء ٤٧° يتحرك الصوت فيهِ على معدل ٤٧٠٠ قدم كل ثانية وذلك اكثر من اربعة اضعاف سرعتهِ في الهواء . وقد لاحظ ايضاً ان الصوت في الماء لا يجتاز خطوط اثقاب الاجسام الاّ بضعفٍ . فاذا كان مصدر الصوت ا كما في (شكل ١٥٠) و ب س ثقباً بين الصخور تحت الماء فالصوت بعد اجتيازهِ ب س ينحصر بين الخطين المستقيمين ا د و ا ي ولا يسمع خلف الصخور كما يسمع بين هذين الخطين فالصوت خارج الخطين اشبه

بظل النور كما سياتي ولذلك يقال لهُ احياناً الظل السمعي

٢٧٩ اذا قرَّبت اذنك من طرف قضيب حديد طويل تسمع جليّاً ولو تخميش الدبوس على الطرف الاخر اذ كان الصوت يصل الى الاذن بواسطة الحديد . ويمكن ان تصنع تجربة مثل هذه في عصا من خشب طويلة. واذا سُدَّت الاذنان وعضَّ شخص على طرف شريط طويل فادنى قرعة او تخميشة على الطرف الابعد تسمع كصوتٍ عالٍ جدًّا. فينتج مما مر ان قوة ايصال الصوت في المواد تختلف كاختلاف الكثافة والمرونة فان زادا معًا في مادةٍ كانت اجود موصل للصوت وبالعكس ولذلك قد خلق الله داخل طبل الاذن عظيمات وشريطة غضروفية ملتفة لفًّا حلزونيًّا مغموسة في سائل لطيف تحمل الصوت الى الدماغ كما يعرف من علم التشريح لانها انسب جدًّا من الهواء لاجل ايصال الصوت لوفور تصلب الاولى وزيادة مرونة الثانية . وصوت الزلزلة واضطرابات البراكين ينبعث الى بعد عظيم في الارض الجامدة. وقد تحقق بالامتحانات على الحديد المَسكوب ان الصوت يسري في هذه المادة نحو ١١٠٠٠ قدم في الثانية اي عشرة اضعاف سرعتهِ في الهواء . واذا كان جمهور منَ الناس قادمًا يعرف قدومهم عن بعد بوضع الاذن على الارض . وهذه العادة كانت جارية من

قديم بين قبائل البرية. ومن الملاحظات يظهر ان الكلب يشعر حالاً بمجي شخص عن بعدٍ حينما يكون مُلقياً اذنهُ على الارض

٢٨٠ قد لوحظ ان الاصوات لا تجتاز من الماء الى الهواء الاَّ ضعيفة ومن الهواء الى الماء كذلك كما اشرنا (رقم ٢٧٨) فاذا أُطبقت القابلة المشار اليها سابقًا (رقم ٢٧٠) على صفيحة المفرغة وحُرِّك الجرس داخلها يكون الصوت قبل اخراج الهواء ضعيفًا. وذلك بداعي توسط الزجاجة بين الجرس والاذن مع ان الزجاج موصل جيد للصوت فيستنتج ان الصوت لا ينتقل من موصل الى اخر. ولذلك تسمع الاصوات ضعيفة اذا توسَّط شيءٌ بين الجسم المصوِّت والاذن ولئن يكن ذلك الشيء موصلاً جيدًا للصوت. واذا كان الجسم المتوسط ذا كثافات مختلفة حتى يقتضي الصوت ان يجتاز عدة مرات من مادة الى اخرى فلا يكاد يسمع. ومن ذلك تتضح هذه الحقيقة وهي ان كباية الزجاج التي ترن جليًا وهي ممتلئة سائلاً يختفي صوتها كليًّا اذا تغطى السائل بفقاقيع رغوة. فاقمشة مختلفة السمك رخوة النسج ومواد خشبية اوخزفية الخ هي غير قابلة لايصال الصوت الاقليلاً ولذلك لا يكون الصوت في البيت المكسي بالاثاث من خزاينٍ وموايدَ ومقاعد وطنافس الخ قويًّا كما في البيت الفارغ منهُ

# الفصل الثاني

## في انعكاس الاصوات

٢٨١ اذا التقت امواج صوت بسطح تنعكس عنهُ زاجعة الى الهواء جاريةً على هذا الناموس وهو ان زاوية الانعكاس تساوي زاوية الوقوع . والصوت المنعكس يسمى صدًى

فبحسب القانون المذكور اذا اراد شخص ان يسمع صدى صوتهِ فعليهِ ان يستقر بحيث يكون صوتهُ على خط عمودي على السطح المنعكس عنهُ الصدى. فالابنية والمغاير والصخور والجبال ذات الوديان والغيوم هي اجسام ترجّع او تعكس الصدى . والاصداء في بعض الاماكن تتكرر كثيرًا من تعداد السطوح العاكسة وأبعادها المختلفة او من تكرار رجعها بين سطحين متوازيين فاذا اطلق مدفعٌ في وادٍ بين عدة جبال فرجع الصدى يستمر احيانًا مدة دقائق . وجداران متوازيان من بناء قد عرف أنهما يردّدان صدى طلق غدارةٍ بين خمسين وستين مرةً . وكون الغيوم ترجع الاصداء يتبرهن من ملاحظة صوت مدفع اذا أُطلِق في حال

صفاوة الجلد ثم في حال تكدُّرهِ . فعلى الاول يكون الصوت بسيطًا حادًا وعلى الثاني يكون مستطيلاً مفرقعًا بتكرار رجع الصدى بين الغيوم والارض

٢٨٢ ان رعد الغيوم الذي يستمر احيانًا عدة ثوانٍ ليس ناتجًا فقط عن رجع الصدى بل يحدث غالبًا من تباين ابعاد مختلفة لمجرى الصاعقة نفسها . لانهُ على كل حالٍ وميض البرق للصاعقة يلوح في لحظةٍ فاذا كان طريقها في خطٍّ بعضهُ ابعد عن الاذن من البعض الآخر كما اذا سارت في طريق متعرِّج تختلف الاوقات التي فيها يصل الصوت المتولِّد من اماكن مختلفة الى الاذن بحسب اختلاف البعد فيتكرر باختلافها

٢٨٣ ان الصوت ينعكس غالبًا عن سطوح مستوية كجدران بناء او سطوح مشبهة بها كجوانب الوديان . ويلوح للسامع ان صوت الصدى بعد انعكاسهِ عن سطحٍ قد صدر من نقطةٍ على الجانب الاخر من السطح العاكس على بعدٍ منهُ متساوٍ لبعد الصوت الاصلي من ذلك السطح . وقد مرَّ انهُ اذا انعكس صوت الصدى لمتكلمٍ عن سطحٍ عموديًا يرجع اليهِ فيسمع صوت نفسهِ . فاذا راقب شخص عدد الثواني بين صدور الصوت منهُ ورجوع الصدى اليهِ يعرف بعدهُ عن السطح العاكس بموجب العبارة

الاتية . لنفرض الثواني = ث والبعد = ب فمن حيث ان الصوت بذهابهِ وايابهِ يكون قد سار مضاعف البعد بين المتكلم والسطح العاكس وسير الصوت = ١١٢٠ قدماً كل ثانية يكون ث × ١١٢٠ = ٢ ب و $\frac{ث \times ١١٢٠}{٢}$ = ب اي لكي تعرف البعد بينك وبين سطح الصدى اضرب الثواني التي فيها يرجع الصوت اليك في ١١٢٠ وخذ نصف الحاصل فيكون لك البعد . ثم من تحويل العبارة المذكورة يظهر ان ث = $\frac{٢ب}{١١٢٠}$ فاذا كان بعد المتكلم عن سطح الصدى ٤٨ قدماً تكون قيمة الثواني من حدوث الصوت الاصلي الى رجع الصدى اقل من ١/١٢ ومن حيث ان هذه المدة لا يُشعَر بها يختلط الصوتان ويصيران صوتاً واحداً اذا كان رجع الصدى عن هذا البعد . وانما اذا كان البعد اكثر من ٤٨ قدماً تكون المدة اكثر من ١/١٢ من الثانية وحينئذٍ تميّز الاذن بين الصوتين فيظهر لها صوت الصدى

١٨٤ ان ناموس انعكاس الصوت عن سطح وهو ان زاوية الوقوع وزاوية الانعكاس متساويتان مطابق لناموس انعكاس النور عنهُ ولذلك كما ان النور يتجمع بانعكاسهِ عن سطح مقعر الى بورةٍ ويتفرق بانعكاسهِ عن سطح محدَّب كما سياتي تعليلهُ يتجمع الصوت ويتفرَّق بانعكاسهِ عن سطحٍ مقعر او محدَّب كذلك .

فاذا وُضع مرآتان شلجميتا الشكل احداها مقابلة للاخرى على اي بعد كان فالصوت الصادر من بورة الواحدة ينعكس الى الاخرى في خطوط متوازية ومن ثم يتجمَّع عند بورة الثانية كما يصير في النور والحرارة . ولذلك تتجمَّع الاصوات في مركز واحد اذ تنعكس عن جدران وسقوف مقعرة كجدران الاقبية والقبب وغير ذلك . واذا قرِّبت صدَفة مقعرة او ما يشبهها الى الاذن تُسمع دمدمةٌ وذلك ناتج عن تجمع الاصوات الخفية المارَّة في الهواء الي الاذن . وسطوح القُرَين السمعي تجمع الصوت على هذا المبدا عينهِ في نقطةٍ ثم ترسلهُ في الانابيب الطويلة المتصلة بها. وهنا تظهر حكمة الباري في خلق فم الحيوان مستدير التجويف لكي يجمع صوت حنجرتهِ فيسمع صوت نفسهِ جليًّا بواسطة انبوبة تصل بين الحلق والسمع والاذن بارزةً مقعرة لكي تجلي للسمع الاصوات الخارجة . وغرف الوسوسة في باريز مصنوعة على هذا المبدا . وكنيسة القديس بولس في لندن يظهر فيها هذه الخاصية العجيبة. والسطوح المقعرة التي يقابل احدها الاخر ككهفين متقابلين في بستانٍ او عقدتين منعقدين على جانبي سوق او جسر يمكن الاشخاص في بوراتها ان تتحادث بالوسوسة مع وجود اصوات عالية في الفسحة بينها من غيرها . ويحكى انَّ سجون ديونيسيوس

الملك الظالم كانت مصنوعة على هذا المبدا منها تخرج انبوبة خفية الى مكان اخر فكان يضع اذنهُ على تلك الانبوبة فيسمع ولو الصوت الخفي من المسجونين

## الفصل الثالث

### في الآلات الموسيقية ومباديها الفلسفية

١٨٥ ان اصوات الموسيقى تنشأُ عن اهتزاز جسم مرن رنَّان يحدث صوتًا مستطيلًا. فمتى كانت الاهتزازات فوق خمس عشرة او عشرين في الثانية يكون موسيقيًّا وكلما زادت سرعة الاهتزازات عن ذلك كان الصوت اعلى. والذي يجعل الصوت الموسيقي في الالات هي الاوتار التي تحرَّك بالنقر عليها كالقانون والطنبورة او صفائح رقيقة من معدن او خلافهِ ينفخ عليها الهواءُ فيحركها كالارغن والمسحورة او عمودٌ من الهواءِ نفسهِ محصور في انبوبة كالفلوت يحرَّك بالنفخ. فتشغيل الالات الموسيقية يكون اما بالنفخ او بالنقر على الاوتار. اما الصوت الانساني فناتج عن كليهما لان الرئة هي بمنزلة منفخ يُنفَخ بها باخراج الهواءِ منها وقد خلق الباري

عند اسفل الحنجرة اوتارًا للصوت تندغم على غضروفين احدهما يقابل الاخر يتباعدان او يتقاربان بالارادة لكي تشتد الاوتار او ترتخي عند ما يريد المغني ان يرفع صوتهُ او يخفضهُ . وعند ما تنفخ الرئة على هذه الاوتار وتجعل اصواتًا مستطيلةً يحصل الصوت الموسيقي

٢٨٦ ان الوَتَر الموسيقي يقتضي ان يكون ذا ثخن واحد مربوطًا بين نقطتين مشدودًا بقوة اعظم جدًّا من ثقلهِ لكي يجعل صوتًا موسيقيًّا . وقوة الشد لوترٍ مربوط طرفاهُ ومشدود على آلة موسيقية توهم غالبًا ثقلاً يجعل نفس الشد على تقدير كون الوتر مربوطًا طرفهُ الواحد كما كان ويمر على بكرة عند الطرف الاخر معلقًا فيهِ ذلك الثقل . وعند ما يُنقَر عليهِ يهتزُّ الى جانبي خط موقعهِ حال سكونهِ ونقطتا الارتباط تبقيان ثابتتين ويسمى الصوت الذي يحدثهُ قرارًا. اما درجة القرار في الاوتار الموسيقية فقد وجد بالامتحان انها تتوقف على ثلاثة امور وهي طول الخيط وشدهُ وثقلهُ . فاللحن يصير اعلى بزيادة الشد وتنقيص كلا الطول والثقل. وتاثير هذه الامور يظهر في الكمنجا الاعتيادية والقانون. فدرجة احد الاوتار ترتفع او تنخفض ببرم البرغي حتى يزيد او ينقص شدهُ . او اذا بقي الشد على حالهِ يحصل الحان اعلى من الوتر نفسهِ بوضع الاصابع بحيث يقصر وكلما قصر زاد علو الصوت.

وعلى هذا المبدا يلعب من يغني على الربابة. او اذا بقي الشد وطول الوتر على حالها تتغير الدرجة فينخفض قرار الصوت بجعل الوتر اثخن او يرتفع بجعلهِ ادق اذ يزداد او ينقص ثقلهُ

ان وقت الاهتزاز المزدوج هو وقت مرور وتر من نقطةٍ جذِب اليها على الجانب الواحد من خط سكونهِ الى النقطة القصوى المقابلة التي يصل اليها على الجانب الاخر ورجوعهِ الى النقطة الاولى ايضًا . وقد تحقق ان وقت الاهتزاز المزدوج الذي هو عبارة عن اجزاء من ثانية من الوقت يوجد بالعبارة الآتية . لتكن ط طول الوتر عقدًا و ث ثقل عقدة من الوتر وش ثقلاً يساوي قوة التدوج بين سقوط الجسم = ١٩٢ عقدة وو وقت الاهتزاز المزدوج الذي هو عبارة عن اجزاء ثانية . تم و = ط √( ت٢ / ح ش ) = ط √( ت٢ / ١٩٢ ش )

ولما كان بعد الوتر من موقع سكونهِ لا يجعل فرقًا في العبارة الجبرية لوقت الاهتزاز المزدوج فهذا الوقت مستقل عن البعد لان اهتزازات وتر مربوط من طرفيهِ تتم في اوقات متساوية سواءٌ كان طول الاهتزازات اعظم او اقل كما ان وقت حركة رقاص في اقواس صغيرة لا يختلف باختلافها . وذلك يتضح من انهُ بزيادة بعد الوتر عن موقع سكونهِ يزيد شدهُ فتزيد سرعتهُ وباقترابهِ اليهِ يقل شدهُ فتقل سرعتهُ. ومن حيث ان السرعة تزداد بازدياد البعد وتقل بنقصانهِ فيوافق العقل الحكم بمساواة الوقت . ولذلك اذا نُقِر على الاوتار بقوة قوية حتى يكون طول الاهتزاز المزدوج اعظم لا تعلو درجة الصوت لان علوها يتوقف على زيادة السرعة كما مر وانما تزيد كثافتهُ التي يراد بها في اصطلاح الموسيقيين زيادة وضوحهِ للاذن وخشونتهِ لا علوُّ درجتهِ. وعلى تساوي اوقات الاهتزاز يتوقف بقاء اللحن . ودليلهُ ان

اختلاف ثخن وتر في اجزاء من طولهِ اذ كان يجعل اوقات الاهتزازات غير متساوية يصير الصوت مخلوطًا ومختلفًا وكل ما يزيل مساواة الوقت في اهتزازات معينة لوتر تحصل منهُ هذه النتيجة . وهذا الناموس قد وجد انهُ يجري على سائر انواع الاصوات الموسيقية

٣٨٨ ثم لما كان عدد الاهتزازات في الاوتار في ثانية من الوقت يختلف با لقلب كوقت اهتزازة واحدة يدل عليهِ بقلب العبارة الدالة على الوقت . فاذا جعلنا ع = عدد الاهتزازات تكون ع = $\frac{\sqrt{\text{١٩٢١ ش}}}{\text{ط}\sqrt{\text{٣ ث}}}$ وسرعة الاهتزازات المدلول عليها بهذه العبارة قد وجد انهُ مطابق للواقع عند امتحان الاوتار التي اهتزازها بطيء حتى يمكن ان تعد اهتزازاتها

## ٣٨٩ انهُ من هذه العبارة تتضح الحقيقة التي اشرنا اليها سابقًا وهي ان قرار الوتر يختلف باختلاف احد الاشياء الثلاثة وهي طول الخيط وشده وثقلهُ

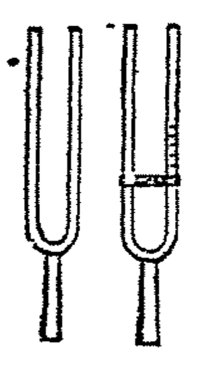
لانهُ لما كانت ج او ١٩٢ او ٣ في العبارة عددان ثابتان فلاجل النظر الى اختلاف عدد الاهتزازات باختلاف احد الاشياء المذكورة يصح حذفها منها فتصير العبارة ع $\propto \frac{\sqrt{\text{ش}}}{\text{ط}\sqrt{\text{ث}}}$ . فاذا بقي الشد وثقل عقدة من الوتر على حالها تكون ع $\propto \frac{1}{\text{ط}}$ اي ان عدد الاهتزازات تتغير با لقلب كطول الوتر . فاذا ضاعفنا طول الوتر مثلاً يصير القرار نصفًا وبا لعكس . واذا بقي الشد والطول على حالهما تكون ع $\propto \frac{1}{\sqrt{\text{ث}}}$ اي ان عدد الاهتزازات يتغير با لقلب كجذر ثقل عقدة من الوتر او كجذر ثخنها . فوتر اربعة اضعاف ثقل اخر تكون سرعة اهتزازهِ نصف سرعة الاخر . واذا بقي الطول وثقل عقدة من الوتر على حالها فتكون ع $\propto \sqrt{\text{ش}}$ اي ان عدد الاهتزازات تتغير كتغير جذر الشدّ . وعلى ذلك يقتضي ان نجعل وتر القانون اربعة اضعاف اشد مما كان لكي نتضاعف سرعة اهتزازهِ . ولما كانت درجة علو الصوت تختلف كاختلاف

سرعة الاهتزازات فدرجة القرار تتوقف على الاشياء الثلاثة المذكورة

٣٩٠ ان القضبان والصفائح المعدنية تجري على القاعدة المذكورة للاوتار نفسها اي ان درجة قرارها في الموسيقى تتوقف على احد الثلاثة وهي الطول والثقل او الثخن والشد . ولما كان الشد متوقف على مرونة المعدن نفسهِ الطبيعية فلا يختلف الشد في معدن من جنس واحد اذ لا تتغير مرونتهُ وانما يختلف الشد باختلاف المعدن. ففي معدن واحد اذًا يختلف الصوت باختلاف الطول والثخن

وعلى ذلك قد اختُرِع آلة تسمى بقياس القرار وهذه صورتها . وهي الة من فولاذ ذات شعبتين يجعل طولها بحسب اللزوم لكي تعطي صوت قرار معين اذا انضربت على شيء صلب او كبس على طرفي شعبتيها با لاصابع ليقتربا ثم أُفلتا وقربت من الاذن. وسميت بقياس القرار لكون الموسيقي يلقط بها صوت القرار المعين لها ومن ثمَّ يتدرج في السلَّم الطبيعي بصوتهِ الى ان يصل الى القرار المطلوب عند ما يقصد ان يرتل او يغني نغمةً يُبتَدَى فيها بقرار معلوم. وقد يجعل لمقياس القرار رابطٌ معدني يربط شعبتيهِ ويتحرك عليهما حتى يجعلهما قصيرتين او طويلتين اذا حُرِّك فيحصل من قرعهِ قرارات مختلفة بحسب الطول والقصر. وكل ذلك يتضح لك من ( شكل ١٥١ )

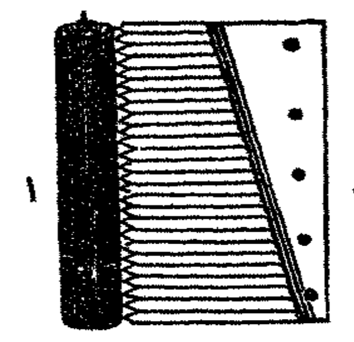
شكل ١٥١



وبموجب ذلك ايضًا قد اخترعت الآلة التي تغنّي من نفسها . وتفصيلها كما ترى في ( شكل ١٥٢ ) . فان ب صفيحة من فولاذ او معدن اخر ذات

سنان كالمشط غير ان سنان المشط متساوية طولاً وهذه تختلف في الطول فكل سنٍّ اطول من الذي يليهِ اذا ابتدانا من الاقصر وبالعكس كما ترى وذلك لكي تختلف درجة قرار كل منها عن الاخر فتحدث صوتاً موسيقياً لان درجة القرار متوقفة على الطول كما تقدم فتعلو اذا قصر وبالعكس . واما ا فهي اسطوانة من نحاس

شكل ١٥٣




او معدن اخر يدبرها دواليب وزنبرك على اسلوب الساعة . وعلى سطح هذه الاسطوانة نتوات لقرع سنان المشط ويجعل توقيع هذه النتوات مناسباً لقرع السنان المقتضية لالحان النغمة

والصفائح الرقيقة المعدنية الكائنة في اثقاب ارغن تختلف ايضاً في الطول والقصر فتختلف درجة قرارها . وحينما يراد تغنية نغمةٍ عليهِ ترفع الحواجز بواسطة الاصابع عن الاثقاب التي تقتضي الحان النغمة رفع الحواجز عنها لمرور الهواء من منفخ الارغن عليها فيكون مشبهاً للمشط في كيفية اصدار الصوت

٢٩١ اما الفلوت والشبابة والصفّارة وما شاكلها فالذي يحدث فيها الاصوات الموسيقية هو اهتزاز العمود من الهواء وتموجهُ المتضمن في كل منها فاذا نُفخَ على هذا العمود من ثقب يرتجُّ فيحدث صوتاً. فتكون عواميد الهواء كالاوتار والنفخ على هذه كالنقر على تلك . وهي تجري في احداث الصوت الموسيقي على القاعدة المذكورة للاوتار نفسها وهي ان علو قرارها او انخفاضهِ يتوقف على احد ثلاثة اشياء وهي الطول والثقل او الثخن والشد غير ان الشد هنا يحصل بتقوية النفخ . ودليل ذلك انهُ كلما قصرنا عمود الهواء في الفلوت برفع الاصابع عن الاثقاب يرتفع الصوت. وكلما جُعِل فراغهُ اوسع مع بقاء الطول والشد ينخفض قرارهُ . واذا شددنا النفخ مع بقاء الطول

والثخن يعلو القرار. ولما كان عمود الهواء المحصر في هذه الآلات هو الذي يحدث الصوت الموسيقي وليس الآلة فلا يظهر اختلاف جوهري من اختلاف مادتها او سمك جدرانها . فاذا كان الفلوت من مادة معدنية او خشبية او غيرها رقيقًا او سميكًا يحدث صوتًا موسيقيًّا على حدٍّ سوى . وكل ذلك يظهر من الامتحان بالتنفيخ على عقد قصب مفتوحة من طرف واحد . ويجب ان يلاحظ ان عمود هواء محصورًا من الجانبين او صفيحة معدنٍ او وترًا مرتبطًا من الطرفين يعطي صوتًا كصوت نصفهِ محصورًا او متصلاً من طرف واحد وسبب ذلك واضح

# الفصل الرابع

## في السلَّم الموسيقي

٣٩٢ السلَّم الموسيقي هو ثمانية اصوات متوالية طبيعية تعلو او تهبط كل منها اعلى من الذي قبلهُ صعودًا واوطى منهُ نزولاً . ويقال لهُ ايضًا ديوانٌ او طبقة او مرتبة ولهذه الاصوات ابراج او الحان وقد عبَّر الموسيقيون عن هذه الابراج بثمانية الفاظ يلفَظ كل منها عند تصويت البرج الذي جعل اللفظ لهُ وهي

| دو | را | مي | فا | سول | لا | تي | دو |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ | ٦ | ٧ | ٨ |

والمقصود الان ان نبحث عما يتعلق بالفلسفة من امر هذا السلم لان

استيفاء الكلام في ذلك من متعلقات علم الغناء

٣٩٣ انهُ يمكن بواسطة الصناعة ان تصنع آلة موسيقية تغني اصواتًا عديدة تعلو او تهبط بمضروب مشترك كسلسلة هندسية او بفضل مشترك كسلسلة حسابية وانما الموسيقيون لا يفعلون ذلك بل يجعلون الآلة تتفق مع اصوات السلم الطبيعي التي يغنيها الانسان لا الآلة . وهذه الاصوات لا تعلو او تهبط على نسبةٍ هندسية او حسابية بل على نسبةٍ معلومة بحيث تكون طبيعية لذيذة للاذن اذا غنّيت الحانًا متوالية

٣٩٤ ان قرار دو الذي هو مبدا السلم لا تتعين درجة علوهِ بل يجوز ان يكون من اي علوٍّ كان ومنهُ يرتقي الى باقي اصوات السلم . غير انهُ اذا ابتدِئ بهِ بصوت عالٍ فقد يقصر مغنيهِ عن الوصول الى نهاية السلم . وقد وجد بالامتحان انهُ اذا جعل الوتر لصوت القرار دو في قانون او آلة اخرى واحدًا فالثمانية اوتار لكي تتفق مع صوت السلم تكون اطوالها على هذا الترتيب ١ ٨/٩ ٤/٥ ٣/٤ ٢/٣ ٣/٥ ٨/١٥ ١/٢ . ويقال للصوت الذي يجعلهُ كل الوتر المدلول عليهِ بواحد مفتاح وللاصوات التي تليهِ الثاني والثالث الخ بالتتابع . ثم لما كان عدد الاهتزازات وبالنتيجة علو الصوت بالقلب كطول الوتر فاذا قُلبت هذه الكسور تدل على ابراج كل

طبقة فتعرف نسبة بعضها الى بعض فاذا كان البرج الاول واحدًا تكون الثمانية ابراج هكذا ١ ٩/٨ ٥/٤ ٤/٣ ٣/٢ ٥/٣ ١٥/٨ ٢ . واذا جعلنا الاول ٢٤ لكي تزول الكسور وابقينا النسبة الكائنة بين الابراج يدل على الثمانية بهذه الاعداد وهي ٢٤ ٢٧ ٣٠ ٣٢ ٣٦ ٤٠ ٤٥ ٤٨ . فيكون الفرق بين الاول والثاني وبين الثاني والثالث وبين السابع والثامن ٣ وبين الثالث والرابع ٢ وبين الرابع والخامس وبين الخامس والسادس ٤ وبين السادس والسابع ٥ اذا جعلنا البرج الاول الذي هو واحد ٢٤ جزءًا. اي انهُ اذا اهتزَّ الوتر الاول ٢٤ في لحظة من الوقت يهتز الثاني ٢٧ في لحظة تساوي تلك وهلمَّ جرًّا . فيكون مناسبًا ان يرسم المرتل مستطيلًا او خطًّا طوليًّا يقسمهُ الى ثمانية اقسام كلٌّ منها فوق الذي قبلهُ نسبتها بعضها الى بعض كنسبة الاعداد المرقومة. ولكون كلٍّ من هذه الاصوات اعلى من الذي قبلهُ شبهت بدرجات وسميت الثمانية اصوات معًا السلم الموسيقي الطبيعي. ولكي يعتمد الموسيقيون من

شكل ١٥٤

$C_2$ B A G F E D C $B_T$ $A_T$

الافرنج على سلم معلوم عام عينوا لالحان سلم معيَّن هذه الحروف الافرنجية السبعة A B C D E F G . واجوبتها وقراراتها التالية يدل عليها بهذه الحروف نفسها باعداد تكتب عن يمينها لكي تميزها عنها فجواب $A$ التالي يكتب هكذا $A_2$ وجواب الجواب هكذا $A_3$ وقرار A التالي يكتب هكذا $A_1$ وهلمَّ جرًّا والسلم الاعتيادي الطبيعي يكون اولهُ دُو عند C وثانيهِ را عند D الخ .وقد قسموا مسافات درجات السلم الى انصاف درجات الا الدرجات بين مي وفا وبين تي ودو لصغر المسافتين طبعًا .وذلك لكي يبتدأ بالسلم من اي درجة تراد ويجعل نصف فسحة بين مي وفا وبين تي ودو حيثما وقعا . وكل ذلك يتضح لك من النظر الى السلم المدلول عليهِ في ( شكل ١٥٤ )

٢٩٥ ثم من ملاحظة سلسلة الاعداد المرقومة يظهر ان البرج الثامن ضعف الاول في العلو فتتفق اهتزازات الواحد مع اهتزازات الاخر في كل لحظة اي اذا اهتز وتر الاول اهتزازة واحدة في لحظة يهتز وتر الثاني اثنتين في لحظة مثلها فاذا نقرنا على الاثنين معًا يتفقان في كل لحظة. وهنا نرى سبب كون اجتماعهما في الالات او في الصوت الانساني يطرب الاذن او الانتقال من احدهما للاخر كذلك وهذا ما يسميهِ ارباب فن الغناء بموافقة الاصوات.

وقد سمَّى موسيقيو العَرَب البرج الثامن جوابًا للاول لهذا السبب عينهِ وسموا الاول قرارًا لكونهم بعد الانتقال منهُ الى ابراج معلومة رجعوا وقرُّوا عليهِ اذ استحسنوا ذلك في كل انغامهم. واذا اراد المغنّي ان ينقل في الصوت بعد نهاية السلم فيغني سلمًا آخر تجري نسبة الابراج الى بعضها مجرى النسبة الاولى. غير ان الابراج في الرتبة الثانية والفروق بين كل اثنين متواليين فيها مضاعف ما يقابلهُ من الابراج والفروق في الرتبة الاولى ثم في الرتبة الثالثة اربع مرات الاولى وهلمَّ جرًّا. ولكن كل مُغنٍّ اذا ابتدا باخفض صوت لايمكنهُ ان يرتقي الى اكثر من رتبتين ولو برجًا واحدًا الاَّ بكل عنف. وانما صوت النساء يبتدي من الرتبة الثانية لصوت الرجال ويرتقي رتبةً اعظم من الرتبة الثانية لصوت الرجال فالصوت الانساني لا يرتقي اكثر من ثلاث رتب باعتبار الرجال والنساء معًا. ويحسب كل برج عند العرب من طبقةٍ قرارًا لنظيرهِ من الطبقة التي فوقها والنظير جوابًا والجواب ضعف القرار ابدًا كما سبق

٢٩٦ اما اسماء الابراج لطبقتين عند العرب فهي يكاه عُشَيران عراق رست دوكاه سيكاه جهاركاه نوى حسيني اوج ماهور محيَّر بزرك ماهوران رمل توتي. فالنوى جواب اليكاه والرمل توتي جواب النوى والحسيني جواب العُشيران وهلمَّ جرًّا. وليست النسبة

بينهما نفس النسبة بين ابراج السلم الافرنجي المذكور سابقًا. فجعلوا الفرق بين الاول والثاني الذي فوقهُ اربعة من اربعة وعشرين يسمونها ارباعًا وكذا بين الرابع والخامس وبين السابع والثامن. وجعلوا بين الثاني والثالث ثلثة ارباع وكذا بين الثالث والرابع وبين الخامس والسادس وبين السادس والسابع فتكون جملة الجميع اي الفرق بين الاول والثامن اربعة وعشرين ربعًا

والمرجح ان السلم الافرنجي هو الاسهل مراسًا لكونهِ يجري على الاصوات الطبيعية ويمكن ان تنضبط عليهِ جميع اغاني الشعوب غير ان الذوق العربي يستحسن اغاني العرب على اغاني الافرنج

٢٩٧ انهُ اذا اجتمع صوتان من برج واحد يحصل اتفاق تام بينهما لكون عدد الاهتزازات متساوية في اوقات متساوية فيتفقان في كل اهتزازة واحدة ثم اذا اجتمع البرج الاول الذي هو دو من الطبقة الاولى مع البرج الثامن الذي هو دو اول الطبقة الثانية يتوافقان ايضًا بحيث كل اهتزازتين من البرج الاعلى ينتهيان في نهاية اهتزازة واحدة من الادنى. فاذا غنّى شخصان كل منهما برجًا بصوتهما او على آلة تسمع لهما رنة وتستحسن الاذن اجتماعهما. وذلك ناتج عن الاتفاق في اقل عدد من الاهتزازات لانهُ كلما يهتز البرج الواحد في الرتبة الدنيا اهتزازةً

يهتز الاخر اثنتين فيتفقان في اخر كل اهتزازتين وذلك اقل ما يكون فوق الواحد . ثم ان دو مع سول يتفقان في كل ثلاث اهتزازات واجتماعهما اقل استحساناً عند الاذن من اجتماع البرج الاول مع الثامن وهكذا كلما زاد عدد الاهتزازات التي يتفق عند نهايتها برجان اذا اجتمعا تفقد الاذن لذة اجتماعهما . وكلام كثير بشان السلم والانغام نعرض عن ذكرهِ لكونهِ يتعلق بعلم الغناء

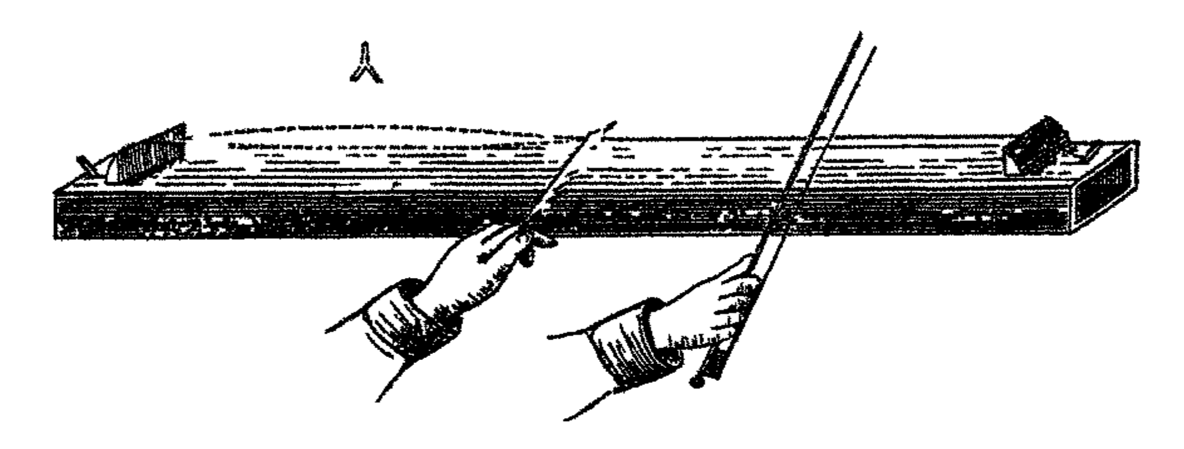
## الفصل الخامس

### في عقد الاهتزاز

٢٩٨ اذا القينا ريشة على منتصف وتر مشدود على خشبة مستطيلة ( شكل ١٥٥ ) وجررنا قوس كمنجة على نصف واحد منهُ نسمع جواباً للقرار الذي للوتر من اهتزاز النصف الاخر ممزوجاً مع القرار . وذلك دليل على ان النصف الواحد الذي لم تُجرّ عليهِ القوس يهتز بذاتهِ . ويظهر ذلك واضحاً بدليل آخر وهو انهُ اذا وُضع راكب مثل ر من ورق احمر على وسط النصف المذكور يهتز ويرتفع . فهذا الوتر قد انقسم عند اهتزازهِ الى قسمين

بعقدة الاهتزاز وهي النقطة حيث تمس الريشة الوتر . واذا ألقيت

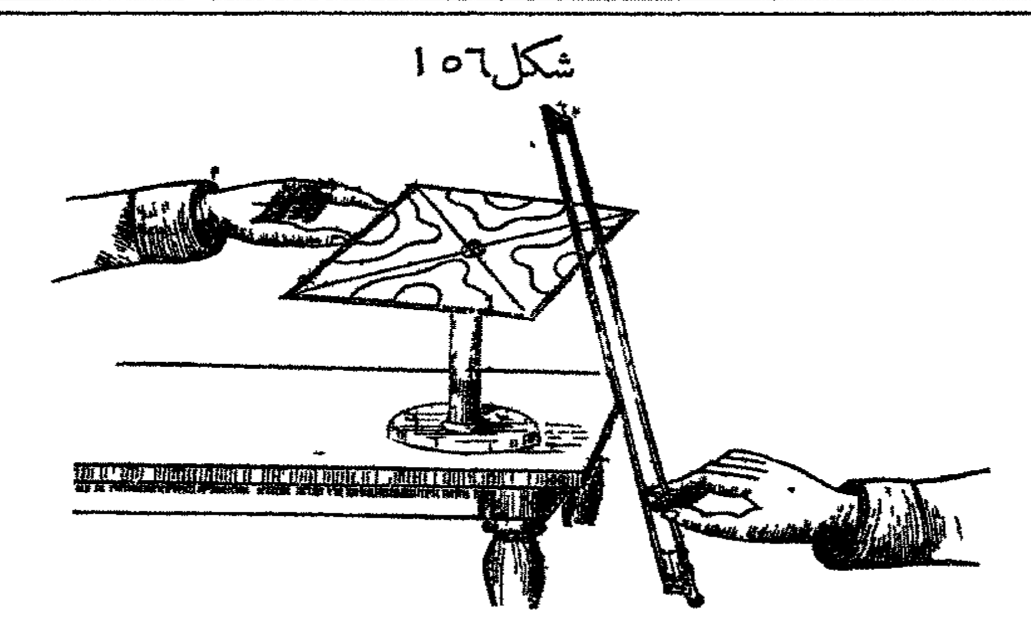
شكل ١٠٠




الريشة على ثلث الوتر وجُرَّت القوس عليهِ فان الثلثين الباقيين ينقسمان الى قسمين بنقطة عقدة الاهتزاز في منتصف الثلثين. واذا القيت على بعد ربع الوتر فالثلثة الارباع الباقية تنقسم الى ثلاثة اقسام متساوية بعقدتين وهلمَّ جرًّا . ويعرف ذلك من الراكب فانهُ يهدا عند نقطة الاهتزاز ويقمز بينها

٣٩٩ ثم انهُ في السطوح المصوِّتة تحصل عقد اهتزاز ايضًا فاذا وضعنا اليد كما في (شكل ١٥٦) على صفيحة من معدن ممكَّنة على عمود عند مركزها مرشوش عليها رملٌ وجررنا قوسًا على حرفها المقابل للذي عليهِ اليد فالرمل يتجمع حالاً الى خطوط منتظمة انتظامًا جميلاً كما يرى في (شكل ١٥٦) ومنها يستدل على ان السطح المهتز اجزاوهُ الواقعة عند تلك الخطوط مستقرة لانهُ لم

شكل ١٥٦



ينقل الرمل عنها وقد تطاير مبتعداً عن الاجزاء المهتزة بين الخطوط . وباختلاف وضع الابهام والسبابة على الصفيحة تختلف خطوط الرمل وتفصل اجزاء مختلفة من سطحها وتحصل من ذلك صوَر شتى متنوعة . والخطوط التي تفصل بين تلك الاجزاء تسمي الخطوط العقدية . وهنا نضع بعض اشكالها

شكل ١٥٧

# الباب السابع

## في الكهربائية وفيهِ مقدمة وتسعة عشر فصلاً

## المقدمة

### في تاريخ معرفة الكهربائية

٣٠٠ الكهربائية قسمٌ من الفلسفة يبحث فيهِ عن الكهربائية وهي سيَّال خفي كامنٌ في جميع الاجسام يظهر على بعضها كالكهرباء بالفرك اكثر مما يظهر على البعض الآخر . ويعرف وجودهُ من مفاعيلهِ كجذب اجسام صغيرة خفيفة كالهباء والخيوط الدقيقة وكهزة الاجسام الحيوانية وغير ذلك . وقبل الشروع في البحث عن هذا الموضوع يحسن ان نلتفت قليلاً الى تاريخ معرفة السيال الكهربائي عند الطبيعيين فنقول . ان اول من قيل انهُ لاحظهُ ثاليس المليتي الذي نشا سنة ٦٠٠ ق م ونسبهُ الى مفاعيل حيوان خفي . وتيوفراستوس المؤرخ الطبيعي الذي نشا سنة ٣٠٠ ق م يذكر حجرًا يسمى لينكوريوم وانهُ لهُ خصائص الجاذبية كالكهرباء .

فيظهر ان فلاسفة اليونان القدماء كانوا يعرفون هذه الحقيقة وهي
ان الكهرباء اذا فُركت تصير لها خاصية جذب الاجسام الخفيفة
ولم يكتشفوا ذلك في غير الكهرباء مع انهُ توجد في غيرها هذه
الخاصية كما سياتي. ولكون هذه القوة ظهرت اولاً في الكهرباء سميت
بالكهربائية . والظاهر انهُ لم يعرف اكثر من ذلك عن السيال
الكهربائي عند القدماء ولم يضف الى ما عرفوه شيئًا مدة ١٩ جيلاً
الى ان قام المعلم كلبرت فيلسوف انكليزي سنة ١٦٠٠ ق م
واشهر تاليفًا في المغناطيس حاويًا ايضًا ملاحظات عديدة عن
الكهربائية . وانما لم يعرف المعلم المذكور شيئًا عن افعالها سوى
الجاذبية . ومن ذلك الوقت الى اواخر الجيل السادس عشر
لم يزَد شيءٌ يعبأ بهِ على معرفة كلبرت في الكهربائية الاقليلاً حتى
فتحت مدرسة كلية في باريس وعُقِدت الجمعية الرويلية (اي المعتبرة)
للعلوم في لندن . ومن ثمَّ صارت عند العلماء غيرة فائقة لاتمام
تجربات فلسفية . فاكتشف العلاَّمة بويل الانكليزي الذي ظهر
سنة ١٦٧٠ عدة حقائق مفيدة في الكهربائية . والفيلسوف اوطو
كيوريكي النمساوي المعاصر لبويل والمخترع طلمبا الهواء اصطنع
آلة الكهربائية الاولى اذ استعمل كرةً من كبريت عوض اسطوانة
الزجاج المستعملة الآن

يقال انهُ قد تكهرب . ثم من حيث انهُ يوجد اختلاف عظيم في الاجسام با لنظر الى قوة نقل الكهربائية نقسم كل الاجسام الى قسمين موصلة وغير موصلة . فالموصلة هي الاجسام التي يمر فيها السيال الكهربائي بسهولة كالحديد والماء . وغير الموصلة هي الاجسام التي السيال الكهربائي إمَّا لا يمر فيها مطلقًا او يجتاز فيها بطيئًا جدًا كالزجاج والخشب الجاف وسياتي الكلام عليها . والتي من النوع الثاني تسمى ايضًا اجسام كهربائية لانهُ بواسطة فركها تتهيج غالبًا الكهربائية . ويقال ان الجسم المكهرب قد انفصل حينما يكون قد اتصل باجسام اخر غير موصلة حتى تمتنع كهربائيتهُ عن الهرب . والآلة المستعملة لاجل اكتشاف الكهربائية او اعتبار مقاديرها تسمى الكترومترا اي مقياس الكهربائية

شكل ١٥٨

٢٠٣ الكترومتر الرقاص . هذه الآلة التي ترى في (شكل ١٥٨ ) تسمى الكترومتر الرقاص. وهي مركبة من كرة صغيرة خفيفة من لب السيسبان موصلة للكهربائية معلقة بخيط غير موصل من الحرير وذلك الخيط مربوط بصنارة من قضيب زجاج ملوي من اعلاه كما في ( شكل ١٥٨ ) فاذا قُرِّبت انبوبة زجاج بعد ان تكون فركت بحرير ناشف من كُرة اللب فالكرة تجذب اولاً ثم تندفع بسرعة. واذا جعلت الانبوبة تمس كرتين معلقتين بالتداول وقربت

وانما الستون سنة الاولى من الجيل الثامن عشر هي السنون التي فيها صارت اكثر الاكتشافات . وكان الاعظم اشتهارًا في ذلك كَراي في انكلترا ودوفاي في فرنسا وفرانكلِن في اميركا . وكل من هولاء اكتشف عدة امور مهمة تتعلق بالكهربائية . وكل من الاخيرين اختلف مذهبهُ عن الآخر في هذا الشان . وقد اختلف علماء هذا الفن في اتباع مذهبيهما فمنهم من ذهب مذهب الاول ومنهم من ذهب مذهب الثاني

## الفصل الاول

### في اصطلاحات كهربائية وبعض انواع الالكترومتر

٣٠١ ان فعل الكهربائية الذي يستدل منهُ غالبًا على وجودها هو الجذب . فاذا فُركت انبوبة من زجاج بقماشة ناشفة من الحرير او الصوف تكتسب خاصية جذب الاجسام الخفيفة اليها كالقطن والريش الخفيف وغير ذلك . فاذا اظهر جسم بالفرك وجود الكهربائية فيهِ بعلامات الجذب وغيرها يقال انهُ قد نهيج . واذا اخذ الجسم السيال الكهربائي من جسم مكهرب

الكرة الواحدة من الاخري تتدافعان

٣٠٣ الكترومتر ورق الذهب . من انواع الالكترومتر ايضًا ما يسمى الكترومتر ورق الذهب كما يدل عليهِ (شكل ١٥٩) وهو مولف من رقعتين رقيقتين جدًّا من ذهب معلقتين بغطاء معدني لقنينة زجاج منفصلتين احداهما عن الاخرى بواسطة الهواء . والكهربائية والحالة هذه تحمل اليهما بسهولة بتقريب جسم مكهرب من الغطاء عدب . فاقتراب الجسم المكهرب يجعل الورقتين ان تتباعدا او ان تتقاربا اذا كانتا مبتعدتين سابقًا بنوع اخر من الكهربائية بموجب القوانين التي سنبينها

شكل ١٥٩

٣٠٤ ميزان الفتل . هذه الالة اخترعها العلامة كولمب وهي تفوق سائر انواع الالكترومتر في تحقيق قياس قوات الكهربائية الطفيفة . وقد استخدم المخترع المرقوم هذه الالة في المباحث الدقيقة عن غوامض نواميس الكهربائية فاوضح بها عدة حقائق بامتحانات مدققة وسترى شكلها

اذا تعلق بشريطة رقيقة طويلة ثقل فمرونة فتلها قوة لطيفة جدًّا فاستخدامها لقياس قوات اخر ضعيفة يكون بغاية المناسبة . وقد عرف بالاختبار انهُ اذا فُتِلت شريطة كهذه في زوايا مختلفة فقوة الفتل تختلف كزاوية الفتل ولذلك نقاس بها وقياسها قياس القوة الموازنة لها . فالتوصل اذ ذاك الى قياس القوة التي توازن قوة الفتل امر سهل

اما ميزان الفتل فيدل عليهِ (شكل ١٦٠) . فان ابرة اللك ن ومعلقة بشريطة دقيقة متصلة بمسكة صغيرة مدملكة الراس مركزة في وسط القرص ي ثابتة فيهِ على اعلى الانبوبة دَ . وهذا القرص محيطهُ مقسوم الى درجات وهو متنقل يدار عند الارادة بادارة المسكة بين الابهام والسبابة ولكن قوة

الفرك تبقيه ثابتًا مع دوران ابرة الّلك اذ لا تؤثّر فيها قوة الفتل . وعند طرف ابرة اللك قرص صغير من رق نحاس ن بجانبه كرة مذهبة م متصلة بالمسكة ر بواسطة القضيب الزجاج ل المنتقل المعاق عند ر بالغطاء الزجاجي للوعاء الاسطواني الزجاجي ب ح الذي ترتكز على غطائهِ ايضًا الانبوبة د وحول الوعاء الاسطواني الدائرة س في سطح الابرة مقسومةٌ الى درجات تقابل درجات ى وصفرها عند م وصفر ى عند ا حيث يوضع مدقّق

شكل ١٦٠

٢٠٥ من هذه الآلة يتبرهن بالتجربة ان قوة الكهربائية تختلف بالقلب كمربع البعد

ليرتب ميزان الفتل ( شكل ١٦٠ ) بادارة مسكة القرص ي حتى يمس القرص ن الكرة م ويقع عند صفر اذ تكون الشريطة على حالها الطبيعي غير مفتولة وصفري عند صفر المدقق ا ايضًا . وليؤتى بامتلاء كهربائي طفيف على م بتقريبها من موصل الة كهربائية فبعد ان تتكهرب ن من كهربائية م تدفع الثانية الاولى وتجعلها بعد خطرات قليلة ان تستقر عند بعد معلوم نفرضهُ ٣٦° مثلاً . ثم لتدار الدائرة ي في الجهة المتقابلة حتى تصير الابرة عند بعد ١٨° من الكرة م . فنرى انهُ لكي تصير الابرة عند هذا البعد قد اقتضى الامر ان يبعد الصفر عن المدقق ١٢٦° . ولانهُ بين الصفر والمدقق ١٢٦° على الدائرة ي وبين الصفر ون ١٨° على الدائرة س وقد كان الصفر على الصفر فكل زاوية الفتل بجمعها تكون ١٤٤° وهي قياس القوة عند ١٨° وذلك قيمة اربعة اضعاف الزاوية ٣٦° فينتج انهُ على نصف البعد

تصير قوة الكهربائية اربعة اضعاف ما كانت على البعد الاصلي . وهكذا يبين انهُ على ثلث البعد تصير القوة تسعة اضعاف وهلمَّ جرًّا . فقوة الكهربائية با لقلب كمربع البعد

# الفصل الثاني

## في خصائص الكهربائية

٢٠٦ انهُ بمساعدة الالكترومتر نتوصل الى الخصائص الاتية للكهربائية وهي اولاً ان الكهربائية تظهر بفرك الاجسام

ومع ان الفرك هو الواسطة الاكثر استعمالاً لتهييج الاجسام فليس هو الواسطة الوحيدة لذلك . فتظهر الكهربائية عند تغيُّر الاجسام من حال الى حال كتغيرها من السيولة الى الجمودة ومن البخارية الى التكاثف . وبعض الاجسام تتهيج بمجرد الضغط واخري بتماس او انفصال سطوح مختلفة. واكثر التراكيب والتحليلات الكيمياوية تكون مصحوبة ايضًا بظهور الكهربائية التي يظهر وجودها من مقياس الكهربائية . فاذا فركنا قطعة من كهرباء او شمع احمر او مادة اخرى راتينجية برقعة من صوف او فرو او حرير وقربناها من الالكترومتر تظهر اشارات الكهربائية . وانبوبة زجاج تتهيج ايضًا على هذا الاسلوب . واذا قرَّبنا الانبوبة المهيجة الى الوجه فتكون ملامستها مشابهة لملامسة نسيج العنكبوت . واذا هُيجت الانبوبة تهيجًا قويًّا تظهر شرارة مصحوبة بصوت الطقطقة اذا قُربت من عقدة الاصبع . وطلحية من ورق ابيض اذا نشِّفت اولاً على النار ثم وضعت على مائدة وفركت با لصمغ الهندي الذي يقا ل

انهُ عند العامة لستيك نتهيج جدًّا حتى تلتصق بحائط او بسطح اخر قربت اليهِ.
وفي احوال كثيرة تنتج الكهربائية عن الفرك حتى انهُ في طقسٍ صافٍ يظهر
السيال بكثرة عند ما تُبرَش الثياب فتجذب الهباء الرفيع العائم في الهواء
تنبيه . قد قرَّرنا ان الكهربائية تحصل من فرك كل الاجسام على انهُ
لو مسكنا في يدنا مادة معدنية كصفيحة من نحاس او حديد مثلاً وفركناها
فلا نشعر بادني علامة تدل على تهيج كهربائي . وانما في حالٍ كهذه الكهربائية
يمتنع تجمعها بداعي كون المادة موصلاً جيدًا فيحمل السيال الى اليد ولكون
اليد موصلاً جيدًا يجتاز السيال عليها حالاً فلا يظهر لهُ اثر. ولكن اذا فصلنا
جسمًا معدنيًّا او مادةً اخرى موصلة فبفركها حينئذٍ تعطي علامات الكهربائية
كاجسام اخر كهربائية

٣٠٧ ثانيًا الكهربائية نوعان زجاجية وراتينجية فالاولى تظهر
بتهييج الزجاج او اجسام اخر يظهر عليها هذا النوع والثانية بتهييج
المواد الراتينجية وخلافها . ويقال ايضًا للاولى ايجابية وللاخرى
سلبية

واُختلف في ايضاح كيفيتهما فذهب المعلم دوفاي ان افعال الكهربائية
تنسب الى قوتي سيالين كل منهما يمتاز عن الاخر ويخترقان كل الاجسام .
وان هذين السيالين يكونان ممزوجين في الاجسام غير المكهربة واحدهما يحق
قوة الاخر . وانهُ بتفريق السيالين نتكهرب الاجسام وباتحادهما ثانية تتفرغ
الكهربائية او يبطل كونها مهيجة . اما مذهب فرانكلن فهو ان افعال الكهربائية
ناتجة عن قوة سيال واحد يخترق كل الاجسام ويوجد فيها طبيعيًّا بحالة
الموازنة . وانهُ بزوال هذه الموازنة فقط يصير تكهرب الاجسام وبرد الموازنة
تتفرغ الكهربائية او يبطل تهيج الاجسام . فتكهرب الجسم يكون بوجود كمية

من السيال فيهِ اكثر او اقل من كميتهِ الطبيعية وعلى الاول يتكهرب ايجابًا وعلى الثاني يتكهرب سلبًا . فالكهربائية الموجبة اذًا كناية عن وفور السيال والسالبة عن نقصانهِ. ولا نتعرض الآن الى البحث عن ايهما هو المرجح الى ان نذكر افعال الكهربائية لكي يكون للتلميذ اساسٌ يبني عليهِ حكمهُ من هذا القبيل

٣٠٨ ثالثًا الجسمان اللذان يتكهربان من نوعين مختلفين من الكهربائية يتجاذبان واللذان يتكهربان من نوع واحد يتدافعان

فاذا تكهربت كرةٌ من لب السيسبان او كوكة من قطن بتقريبها من انبوبة زجاج تنجذب اليها اولاً لكون جنس كهربائية كلٍّ منهما ينافي الاخر. ثم اذ يتكهربان من جنس واحد وهو الكهربائية الزجاجية تندفع حالاً كرة اللب عن الانبوبة وعن سائر الاجسام المكتسبة هذا النوع من الكهربائية اذ تُجتذَب بكهربائية الشمع الاحمر او سائر الاجسام التي تُظهر الكهربائية الراتينجية

واذا مُسِكت خصلة من شعر رفيع من الطرف الواحد وبرِشَت ببرش جافٍّ من الطرف الاخر فخصلة الشعر تتكهرب وكل شعرة منها تدفع الاخرى. ومثل ذلك كرتان من لب او جسمان اخران خفيفان منفصلان يتدافعان اذا تكهربا من نوعٍ واحد ويتجاذبان اذا تكهربا من نوعين مختلفين. ويتضح ذلك من النظر الى ( شكل ١٦١ )

شكل ١٦١



فان كرة اللب تدنو من انبوبة الزجاج المفروكة برقعة من صوف او حرير كما يرى عند ا ثم بعد ذلك تندفع عنها بسرعة كما يرى عند ب . واذا قُرِّب الى الكرة الصغيرة بعد ان تكون

اخذت الكهربائية الزجاجية جسم راتينجي مهيج تجذب اليهِ

ومن ذلك يسهل علينا ان نحقق نوع الكهربائية على جسم مكهرب ان كانت زجاجية او راتينجية . لانهُ اذ يكون قد تكهرب الالكترومتر بزجاجة مهيجة فكل الاجسام المهيجة حينئذٍ التي تجذب الكرة تكون كهربائيتها راتينجية والتي تدفعها كهربائيتها زجاجية

٣٠٩ رابعًا نوعا الكهربائية المذكوران سابقًا في القضية الثالثة يحصلان عند الفرك في وقت واحد النوع الواحد في الجسم المفروك والآخر في الفارك

اذا فركنا انبوبة زجاج مثلاً بقماش من صوف او حرير يتكهرب الزجاج ايجابًا والقماش سلبًا . وهذا الحكم صحيح عمومًا ولكن نوع الكهربائية الذي يكتسبهُ كل جسم يتوقف على المادة التي يفرك عليها . فاذا فركنا قماش صوف جاف على زجاج مالس يكتسب الاول الراتينجية والثاني الزجاجية ولكن اذا فركنا القماش المذكور على زجاج خشن يتكهرب ايجابًا اذ يتكهرب الزجاج سلبًا ولاجل صحة الامتحان يقتضي ان القماش ينفصل بمسكة من زجاج . والقائمة الآتية تحتوي عددًا من المواد الكهربائية مرتبة على اسلوب انهُ اذا فركت واحدة منها على اخرى فايتهما قبل الاخرى في هذه القائمة تتكهرب ايجابًا والاخرى تتكهرب سلبًا

| | |
|---|---|
| ١ فرو الهر | ٦ الورق |
| ٢ الزجاج المالس | ٧ الحرير |
| ٣ قماش الصوف | ٨ صمغ البنيان |
| ٤ الريش | ٩ الزجاج الخشن |
| ٥ الخشب | ١٠ الكبريت |

فاذا فرك فرو الهر على كل من الاجسام المذكورة في هذه القائمة يكتسب الكهربائية الزجاجية واما الكبريت فياخذ دائمًا الكهربائية الراتينجية. والريش يصير سلبًا اذا فرك على فرو الهر او الزجاج الاملس او قماش الصوف وايجابًا اذا فرك على الخشب او الورق او الحرير او صمغ البنيان او الزجاج الخشن او الكبريت وهلمَّ جرًّا

٢١٠ خامسًا الكهربائية تجتاز على بعض الاجسام التي تسمى موصلة باعظم سهولة وعلى خلافها التي تسمى فاصلة باعظم صعوبة او لا تكاد تجتاز فيها والاجسام الأُخر لها قوة للايصال بين كليها

المعادن والفحم والماء وكل السائلات ما عدا الزيوت هي موصلات جيدة . والشمع العسلي والشحم الذائبان ايضًا موصلان جيدان . ولكن اذا كان هذان جامدين فهما موصلان رديئان . والزجاج والراتينج والصموغ والشمع الاحمر والحرير والكبريت والحجارة الكريمة والاكاسيد وهي مركبات الاكسجين مع مواد اخر وكل الغازات هي فاصلة اوردية الايصال جدًّا. وهواء الجلد اذا كان جافًا هو اتم فاصل ولكنهُ يصير موصلاً اما بصيرورته رطبًا او متلطفًا . والسيال الكهربائي يخترق الخلاء الذي يحصل بالالة المفرغة او بانبوبة طورسلي بسهولة. وقد زعم بعضهم ان الكهربائية لاتجتاز خلاءً تامًّا وعندهم ان فراغ طورسلي غير تام كفراغ الآلة المفرغة

٢١١ ثم ان قوات الايصال لاكثر الاجسام تختلف باختلاف درجة الحرارة وايضًا باختلاف الهيئة فالماء في حالتهِ الطبيعية موصل جيد ولكن قوة ايصالهِ تزداد بالحرارة وتنقص بالبرودة . والبخار والجليد كل منهما اقل قوة للايصال من الماء الصافي . والجليد تحت درجة ١٣° ف يصير كهربائيًا او غير موصل بدرجة اتم . والثلج اذا كان باردًا او جافًا فهو موصل ردي.

وفي مدة نوء الثلج الجافّ يصير الهواء غالبًا كهربائيًّا

وكذلك الجسم نفسهُ قد تختلف قوتهُ في الايصال باختلاف حالتهِ او تركيبهِ الكيمياوي . مثالهُ العصا الخضراء موصلة وإنما العصا المشوية الجافة غير موصلة والفحم موصل ولكن الرماد غير موصل

٣١٣ وعند الحصر لا نعرف جسمًا غير موصل للكهربائية مطلقًا . وكذلك لا يوجد جسم قوة الايصال فيهِ تامة. والقائمة الآتية يظهر فيها ترتيب قوة الايصال للاجسام اذ كان ترتيب وضعها بحسب ذلك

| الاجسام الموصلة | الاجسام الفاصلة |
|---|---|
| المعادن | صمغ البنيان او اللك والكهرباء والراتنج |
| الفحم | الكبريت |
| البلمباجين | الشمع |
| الفحم المسحوق | الدهن |
| الماء الصافي | الزجاج والجواهر والحجارة الكريمة |
| الثلج | الحرير والصوف |
| النباتات الحية | الشعر والريش |
| الحيوانات الحية | هواء الجلد الجافّ وغازات اخر |
| اللهيب والدخان والبخار | الخشب المشوي |
| الهواء الرطب | الصمغ الهندي او المطّاط |

اما المعادن فاثمنها واقلها تاكسدًا هو الاحسن كالذهب والبلاتين. واما الفحم فاحسنهُ ما يستحضر من الحطب الصلب كالسندجان المحرّق جيدًا . اما البلمباجين فهو نوع من المعادن وهو المعروف بالرصاص الاسود الذي تصنع منهُ اقلام الرصاص . واما الثلج فهو موصلٌ جيدٌ عند ما يكون رطبًا ورديء عند ما يكون جافًا

ولاجل الحفظ في الذهن والتذكار نقول ان المعادن والماء وكلّ المواد الرطبة والحيوانية كجسم الانسان والارض نفسها هي موصلة وانما الهواء الجاف وكل المواد الراتينجية والزجاجيّة هي فاصلة . وهذه المواد الاخيرة هي المعوّل عليها في عمل الامتحانات بالالات الكهربائية

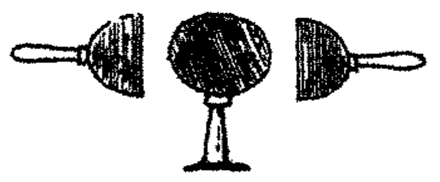
## ٣١٢ سادسًا قوة الفصل تختلف باختلاف حالة الجلَد والمواد المستعملة فواصل

فلا نرى كيف يتيسر حصر السيّال الكهربائي لاجل تجمُّعهِ لو كان الهواء موصلاً . على انهُ اذا كان رطبًا فليس بجيّد للفصل . فالالات الكهربائية اذًا لا تشتغل جيّدًا في طقس ممطر او ذي سحاب او ضباب ما لم تُنَشَّف رطوبة الهواء تنشيفًا صناعيًّا بتحمية غرفة ضابطة بواسطة نار حتى تصير في درجة عالية من الحرارة

صمغ البنيان وهو المعروف باللك المسحوب خيطًا دقيقًا هو اتمُّ فاصل . وبالنسبة الى خيط الحرير قوَّتُهُ عشرة اضعاف قوة الثاني في منع فقدان السيال . وانما خيط الحرير اذا كان جافًّا تمامًا هو من احسن الفواصل وحيث يقصد التدقيق يستعمل سلك من حرير خام اي غير مبيَّض . وقوتهُ في الايصال تختلف نوعًا باختلاف لونهِ فالاسود هو الارداُ والاصفر الذهبي هو اللون الاحسن للفصل . والزجاج يستعمل كثيرًا فاصلاً وخصوصًا حينما يقتضي الامر قوة عظيمة كما في قوائم انواع مختلفة من الالات الكهربائية . على ان الزجاج قابل لاكتساب الرطوبة على سطحهِ التي تقلل خاصيَّة فصلهِ ويزال هذا المحذور بتلبيسهِ الدهون من خارج . والشعر الرفيع هو مادة جيدة ومناسبة للفصل في بعض الاحوال . وفي بعض الاحوال يحتاج الى خيوط موصلة فيستعمل حينئذٍ شرائط دقيقة من فضة او خيطان كتان تُنقَع قبلُ في مذوّب الملح وتجفَّف

٣١٤ سابعًا اذا تكهرب جسم فالكهربائية تستقر على سطحهِ اذ تلتف عليهِ كغطاء رقيق . وتميل الى الهرب عنهُ حالما تجد مهربًا على جسم موصل

ان اول من بيّن ذلك بالامتحان العلاَّمة كولمب. فركّز كرةً من نحاس على فاصل من زجاج كما يرى في (شكل ١٦٢)


شكل ١٦٢

ثم اعدَّ نصفي كرة من نحاس مجوفين ينطبقان على الكرة الاولى وفصلها بمسكتي زجاج واذ طبقها عليها قرَّب هذه الآلة الى جسم مكهرب وملأَها من الكهربائية . ثم بعد إبعادها عنهُ فرّق حالاً بين نصفي الكرة وقرَّب كلاًّ منهما على حدةٍ الى الالكترومتر فوجد أنَّ كليهما قد تكهرب. ثم كرَّر العمل وقرَّب الكرة منهُ فلم يجد عليها اثر الكهربائية بل كانت معدومةً بالكلية فبنزع الغطاء الخارج عن الجسم قد زال كل جوهرٍ من الكهربائية. فتبيّن من ذلك ان الكهربائية كانت كلها على السطح

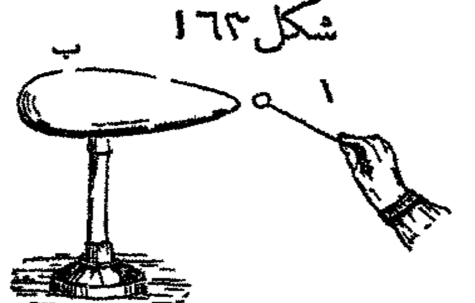
ولنا دليل آخر على صحة هذه القضية وهو انهُ اذا لامس جسمًا مكهربًا كرتان من معدنٍ واحد ومقدار واحد احداهما مصمّتة والاخرى فارغة يمتلي كل منهما بكمية من السيال الكهربائي تساوي كمية الآخر. فلو كان السيال يملأُ كل المادة الداخلة لتكهربت المصمّتة اكثر من الفارغة

٣١٥ ثامنًا توزيع الكهربائية على سطوح الاجسام يتوقف على هيئتها. فاذا كان الجسم كرويًّا فالسيال يتوزع عليهِ بالتساوي واذا كان الجسم مستطيلاً مروسًا تجمع الكهربائية على راسهِ المروس اكثر مما على اماكن اخرى من سطحهِ. وبالاجمال كلما زاد تحديب

سطح الجسم اي قرب الى الترويس يزداد تجمع الكهربائية عليهِ حتى تصير قابلة للانفلات . وهذا دليل على ان الكهربائية تميل الى التجمع على الاجزاء المروسة من الاجسام او السير الى جهتها والانفلات عنها

وذلك يتضح من النظر الى هذا الشكل فان ب هو جسم موصل للكهربائية كالنحاس منفصل بعمود من زجاج مرتكز عليهِ . وا قضيب من شمع احمر على راسهِ ورقة مستديرة مبطنة بذهب او خلافهِ يسمى سطح البيان . فاذا قُرِّب ا من اي نقطة كانت على

شكل ١٦٣




سطح كرة من نحاس مفصولة بزجاج كفصل ب ثم قُرِّب من كرة لب السيسبان للالكترومتر المرسوم في رقم ٢٠٨ يرى ان قوة الكهربائية متساوية عند كل النقط من سطح الجسم اذ يكون فعلها على كرة اللب واحدًا ابدًا . ولكن اذا قُرِّب ا من الجسم ب المستطيل المروَّس في اجزاء مختلفة من سطحهِ يظهر ان فعل الكهربائية على كرة اللب مختلف وذلك ليس الَّا لاختلاف كمية السيَّال الكهربائي على الاماكن المختلفة من سطح ب . وان الكهربائية تتجمَّع عند راسهِ المروَّس كما مرَّ

ان القضايا المذكورة سابقًا يتبين اكثرها بواسطة جمع الكهربائية بتهييج اجسام كهربائية بيانًا ظاهرًا ولكن لاجل ايضاحها باجلى بيان وخصوصًا لاجل ايضاح القضيتين السابعة والثامنة اللتين تقتضيان كمية وافرة من الكهربائية لاجل ايضاحهما بالامتحان قد اصطنعوا آلات كبيرة لاجل جمع كمية وافرة من هذا السيال وسياتي بيانها

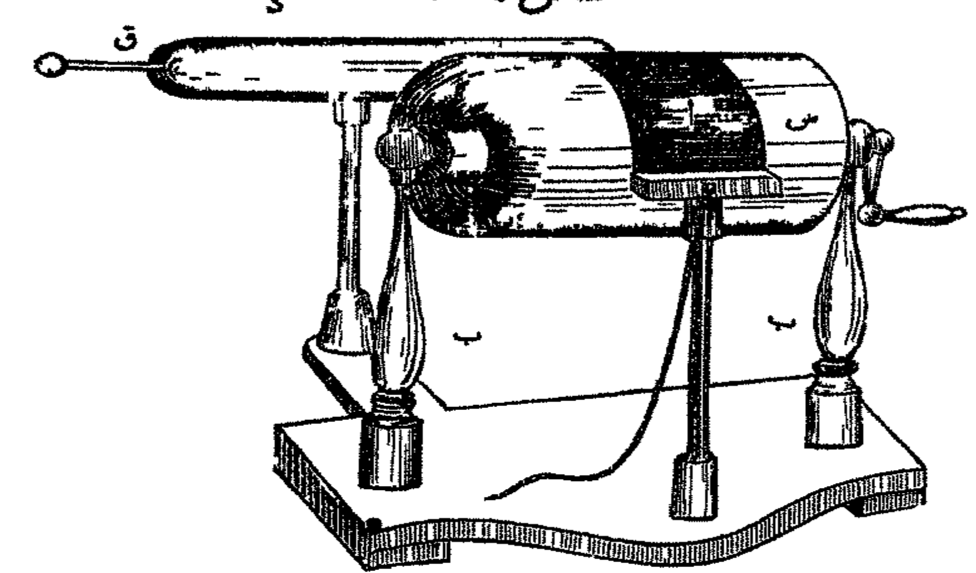
# الفصل الثالث

## في الآلة الكهربائية وظواهر الكهربائية بها

٣١٦ القصد في الآلة الكهربائية انما هو جمع الكهربائية. ومن الالات ما يجمع الكهربائية بالفرك وفيها كلامنا الان وما يجمعها بواسطة اخرى وسياتي الكلام عليها . والاولى تصنع من اشكال كثيرة مختلفة لا حاجة لذكر جميعها وسنذكر شكلين منها هما اقواها وافضلها . الاولى ما يقال لها ذات الاسطوانة والثانية ما يقال لها ذات القرص

فالآلة ذات الاسطوانة تُرى في (شكل ١٦٤). والاجزاء الخصوصية التي

شكل ١٦٤




تتركب منها هي الاسطوانة والقوائم والفارك والموصل الاعظم . فالاسطوانة س هي

من زجاج قطرها من ثماني قراريط الى اثني عشر وطولها من اثني عشر الى اربعة وعشرين قيراطًا . ونقتضي ان تكون اسطوانة تامة الاستدارة وإلاّ فلا يكبس الفارك او الحشيَّة على كل سطح الاسطوانة . ويقتضي ان تكون ملساء بقدر ما امكن لان الزجاج الخشن هو موصل نوعًا والزجاج الاملس فقط هو المناسب لجمع الكهربائية الموجبة . ويقتضي ان تتركز الاسطوانة على الخشب جالسة مستقيمة بحيث تدور بدون ان ترتج لان الارتجاج يمنع دوام ملامستها للفارك. والقائمتان ب ب مصوعتان من خشب ويقتضي ان يكون الخشب صلبًا يابسًا جدًّا وان يُسوَّى بالفرن وان يُلبَّس بعد ذلك بدهون الفرنيش. والقصد في كل ذلك تقليل قوَّتهِ للايصال فيمنع فقدان الكهربائية من الاسطوانة . ويحسن ان تكون هذه القوائم من زجاج اذا لم تكن صعوبة في ذلك ولايخشى كسرها . اما الفارك ا ويقال لهُ ايضًا الحشيَّة فمصنوع من حشية جلد محشية بشعر. وهو مغطًّى بقماش حرير اسود لهُ هدب يمتد من الحشية فوق الاسطوانة الى بعد قيراط من النقط التي تقابل سنان الموصل الاعظم الذي سنتكلم عنهُ. والفارك يدهن بمزيج من الزيبق والتوتيا والقصدير يقال لهُ مَلْغَم وقد عُرِف بالامتحان انهُ يجعل تهيجًا كهربائيًّا قويًّا جدًّا اذا فُرِك بهِ على الزجاج . ويُفصَل الفارك بوضعهِ على عمود من زجاج مصمت ويجعل ملتصقًا بالاسطوانة التصاقًا محكمًا بواسطة زنبرك يكبس عليهِ برغي

٣١٧ اما كيفية عمل الملغم فهي ان يوخذ اوقيتان من التوتيا واوقية واحدة من القصدير وست اواق زيبق من الاواق الطبية. وتذوَّب التوتيا والقصدير معًا ويصبًّا في هاون يكون قد أُحمي قليلاً لكي لايجمد فيهِ المعدنان المذوبان بغتةً. وبعدما يصبان يقتضي ان يُقتَلا بالزيبق حالاً بدقة الهاون وفي مدة التحريك يضاف زيبق ويداوم التحريك حتى يبرد المزيج ويصير كالعجين. ثم يضاف اليهِ قليل من شحم الخنزير لكي يجعل رخاوتهُ مناسبة غيرانهُ قبل مزجهِ

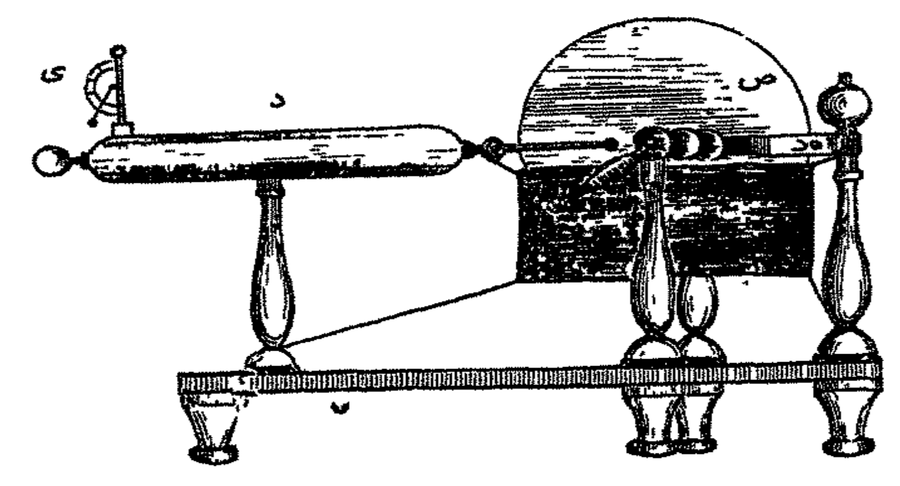
يجب ان يسخّن قليلاً ويستعمل منهُ كمية قليلة. وفي ايام الصيف يقتضي ان يستعمل كمية اقل من الزيبق

٢١٨ اما الموصل الاعظم د فهو اسطوانة نحاسية تكون غالبًا فارغة وذلك لان الكهربائية تستقر على السطوح فلا داعي لاصطناعهِ مصمتاً ثقيلاً ولها طرفان مستديران كنصفي كرة. وهي مركّزة على عمود مصمت من زجاج ذي قاعدة متّسعة مصنوعة من خشب ثقيل لكي تبقيهُ ثابتًا . ويدخل في طرف الاسطوانة قضيب من معدن مثل ق في راسهِ كرة من نحاس. وفي طرفهِ الآخر القريب من الزجاجة س قضيب معدن في راسهِ سنان معدن لا يرى في الشكل لاخذ الكهربائية عن الزجاج

تنبيه . انهُ لامر ضروري في اصطناع آلة كهربائية ان تكون كل اجزائها ملساء خالية من النتوّات المروسة والحروف الحادة التي من شانها ان تبدّد السيّال لانهُ يتجمّع عليها اكثر مما على السطوح القليلة التحديب ويهرب عنها (رقم ٢١٥) . ولهذا السبب نفسهِ يقتضي ان تكون الآلة خالية من الغبار الذي من شانهِ ان يبدّد الكهربائية ايضاً كالرؤوس والنتوات

٢١٩ اما الالة ذات القرص فهي مركبة من قرص من زجاج ص طول

شكل ١٦٥




قطرهِ من ثماني عشرة عقدة الى اربع وعشرين او اكثر يُدار عموديًا على سطح

الافق على محور يمر في مركزهِ كما في (شكل ١٦٥) . وقوائمها مصنوعة من مواد كالمصنوعة منها قوائم الآلة ذات الاسطوانة. وهذه الآلة لها فاركان على جانبيها احدهما س سَ على الجانب الذي يقابلهُ لاجل تهييج القرص المذكور بالفرك عليهِ عند ادارتهِ وقد يُكتفى بفارك واحد . والموصل الاعظم د هو اسطوانة نحاسية يُدخل فيها قضيب له سنان تقابل قرص الزجاج ورؤُوسها قريبة منهُ جدًّا لكي تاخذ الكهربائية عند ادارة القرص وتهييجهِ . ولاجل جمع الكهربائية بكثرة قد يُجعَل قضيبان احدهما يقابل السطح الواحد والاخر السطح على الجانب الثاني متصلان بالموصل . والارجح انهُ لا فرق يشعر بهِ بين قوة ذات القرص وقوة ذات الاسطوانة في جمع الكهربائية غير ان الثانية اقل كلفةً من الاولى واقل خطرًا من ان تنكسر وانسب للاستعمال

٣٢٠ اما خواص الآلة الكهربائية فتدرك مما مر عن انبوبة الزجاج . ولا فرق بينهما الآنَ الآلة تحصّل بها كمية وافرة من الكهربائية لاجل اظهار تجربات كثيرة تقتضي ذلك وبواسطة فرك الفارك على اسطوانة الزجاج او على القرص تظهر الكهربائية فتُرسَل حالاً الى الموصل الاعظم ويمكن ان توخذ من الموصل الاعظم بعقدة الاصبع او بمادة اخرى موصلة . واذا بقي الزجاجة والفارك كلاهما منفصلين عن الارض فكمية الكهربائية التي تحصل منها تفرَغ حالاً . ولذلك يعلّق بالفارك سلسلة نحاس او معدن اخر تتدلى الى مائدة او الى ارض البيت فتوصل كمية من السيّال لا تفرغ الى الفارك. وفي بعض الاحوال حيث يقتضي جمع كمية وافرة من الكهربائية تتدلى السلسلة المعدنية راسًا الى الارض

٣٢١ انهُ لكي يدل على درجة التهييج في الموصل الاعظم يجعل عليهِ الالكترومتر الربع كما يُدَلّ عليهِ في رسم الالة الاسطوانة عند ي (شكل ١٦٥). وهذا الالكترومتر مصنوع من نصف دائرة تكون غالبًا من عاج مقسومة الى درجات ودقائق من صفر الى ١٨٠° والانقسام يبتدي من اسفل القوس. وما

يقال له دليل الالكترومتر مصنوع من قشة تتحرك حول مركز الدائرة حاملة في طرفها كرة صغيرة من اللب والحامل لنصف الدائرة عمود من نحاس او مادة اخرى موصلة كما ترى . فحينما يكون الدليل عموديًّا على سطح الافق لا تكون الكهربائية موجودة وانما اذا تكهرب الموصل الاعظم يعطي من نوع كهربائيته للدليل فيدفعه ويرفعه على المقياس الى نحو زاوية ٩٠° او الى حيث يكون قائمًا على عمود المعدن . ولا يخفى ان الدليل لا يرتفع ابدًا الى اعلى من ٩٠° اذ يكون الراس المستدير في اعلى العمود قد تكهرب بدرجة الموصل الاعظم ويدفع الدليل بقوة متساوية لقوة الموصل الاعظم . وبعض الاحيان حيث يكون راس العمود صغيرًا تنفلت عنه الكهربائية كراس مروس فتغلب كهربائية الموصل الاعظم وتدفع الدليل الى اعلى من ٩٠° . ثم لا يقتضي ان يظن ان الزاوية التي يرتفع الدليل فيقف عندها تُعتبر القياس الحقيقي للقوة الدافعة . بل لكي نعرف هذه القوة حقيقةً يقتضي ان يقسم قوس الالكترومتر الى اقواس مماساتها على سلسلة حسابية

٣٢٢ ولما كانت الالات الكهربائية ثمينة ولا يحصّلها الذي يدرس بنفسه دائمًا بسهولة يحسن ان نشير الى طريقة بها يصنع آلة رخيصة . فيمكن ان يشتري قنينة زجاج كبيرة من عند الصيدلاني ويجعلها اسطوانة ويغرّي لوحتين من خشب على طرفيها ويدخل في مركز اللوحة التي تلي القعر قطعةً من عصا يجعل راسها كرة صغيرة طرفًا للمحور ويُدخِل الجزء من المحور المتصل بالمسكة في مركز غطاء الخشب الذي يلي راس القنينة . واذا أُعدّت على الاسلوب المذكور يمكن النجار ان يركزها على خشب صلب جافٍ . ويمكن السنكري ان يصنع الموصل الاعظم وعدة لوازم اخر آتٍ ذكرها . والقناني والحناجر المستطيلة الرفيعة تصلح ان تكون فواصل ويُصنَع لها الملغم كما مر . والتلامذة النجباء الذين يدرسون الكهربائية غالبًا يسلون نفوسهم باصطناع

آلات على هذه الصفة. وبعضها يكون صالحًا لتجرباتٍ يستخدَمُ لها اعظم الآلات واثمنها

٢٢٣ اذا كانت الة كهربائية كاملة الانقان وتشتغل جيدًا فبادارتها تحيط دوائر من نور حول الاسطوانة او القرص ومجاري من نور تصدر من الحشيَّة وبقية اجزاء الآلة بغزارة ودوائر النور تتألّف من شرارات كهربائية تتفرغ ما بين السطح المهيّج والفارك. واذا كانت مسرعةً في مرورها تظهر كخط متصل مثل خطٍ لقضيب أُشعِلَ طرفهُ وأُدير في الهواء. فمجاري النور تصحب مجرى السيَّال الكهربائي الذي ينفلت بسهولة من الرؤُوس والحروف الحادَّة

٢٢٤ ولنتقدم لذكر بعض ظواهر الكهربائية التي تظهر بواسطة الآلة الكهربائية مقتصرين الآن على الالتفات الى الامتحانات التي تتعلق بالجذب والدفع ومجرى الشرار تاركين ما يتعلق بالنور والحرارة الذي سياتي الكلام بشانهِ. والظواهر الآتي ذكرها تلاحظ من آلة معتدلة القوة. ومن القضايا السابقة تتضح للتلميذ اسبابها

(١) اذا أُديرت الآلة ومسكت ريشة خفيفة او كوكة قطن معلقة بخيط موصل كخيط من كتان اوقطن تجذب بشدة الى نحو السطح المهيج. ويحسن ان نقوي قوة الايصال في خيط الكتان او القطن بترطيبهِ ببخار التنفُّس

(٢) اذا تعلقت شلّة من خيطان او خصلة من شعر بالموصل الاعظم يظهر فيها تدافع قوي بين الخيطان او الشعر. ففتيلة القنديل تصلح جيدًا لهذا الامتحان

(٣) اذا كان الكترومتر الربع في الآلة يمكن ان تمتحن قوات الايصال في مواد مختلفة بسهولة. فاذا قرُب قضيب من حديد ممسوك باليد من الموصل يجعل دليل الالكترومتر يسْقط حالاً ويظهر هذا الفعل نفسهُ من تقريب اي قضيب معدنيٍّ كان. وقضيب من خشب من ذات المقدار يجعل الدليل

ينزل باكثر ابطاء. وقضيب من زجاج لا يكاد ينزلهُ . وبهذه الامتحانات يظهر ان الحديد موصل تام وان الخشب موصل غير تام وان الزجاج فاصل. وعلى هذا الاسلوب تتضح قوَّة الفصل لقضيب شمع احمر او خصلة من حرير او صوف او اجسام اخر مختلفة

(٤) اذا قُدِّمت من الموصل الاعظم كرة من لب السيسبان او ريشة او جسم آخر خفيف مربوط بخيط من حرير تجذب اوَّلاً ثم تندفع ولا تعود تلامس الموصل الكهربائي حتى تتفرغ كهربائيتها باتصالها بالاصبع او موصل ما غير مكهرب

(٥) ان وُضع اجسام خفيفة بين موصل مكهرب وجسم غير منفصل تتحرك بسرعة شديدة الى الوراء والامام من سطح الى اخر اذ تجذب وتندفع بالتبادل من السطح المكهرب . وبهذه الواسطة تتم رقصات الكهربائية ودق الاجراس وامتحانات اخر ملذة ومبهجة كما سياتي

(٦) اذا انفصل الفارك بينما تدار الآلة واتصل الموصل الاعظم بالارض بواسطة سلسلة معدنية يرَى ان نوع كهربائية الفارك يختلف عن نوع كهربائية الاسطوانة الزجاجية او القرص. والاجسام تتكهرب ايجابًا باتصالها بالزجاج بواسطة الموصل الاعظم وسلبًا باتصالها بالفارك اذ يكون منفصلاً والموصل الاعظم غير منفصل

(٧) الجسم المكهرب له ميل ان تجزَّأ الى اجزاء دقيقة اذ تكون هذه الاجزاء قد اكتسبت قوة التدافع. فكوكة من قطن مكهربة تتفرق الى خيوطها الدقيقة جدًّا. والشمع الاحمر الذائب اذا قرب من الموصل الاعظم بواسطةٍ ينقسم الى خيوط رفيعة تشبه الصوف الاحمر. والماء الذي ينقط من انبوبة شعرية كالمص عند تكهربها يجري الى خارج بعدة مجاري رفيعة جدًّا . والماء المتفرغ بضغط الهواء ينقسم الى خيوط دقيقة ايضًا اذ يرى على هيئة برش

(٨) الجزء من الهواء المكهرب بداعي التدافع بين دقائقهِ يتمدَّد واذ يكون لهُ فرصة للهرب يتلطف وعند ذلك يتحرك بموجب مبدا تحرك الهواء كما تقدم. هذا ما يظهر من نتائج الامتحانات على الآلة الكهربائية واما امتحانات النور والحرارة فسياتي الكلام عليها

تنبيه. يراد بفسحة الاتصال فيما ياتي البعد الذي عليهِ تظهر شرارة كهربائية اذا قرِّب جسم مكهرب الى اخر يحتوي كهربائية تخالف كهربائيتهُ. ويراد بفسحة الفعل البعد الذي تَصل اليهِ قوة جاذبية جسم مكهرب في جهة نهايتهُ وراء فسحة الاتصال بدون ظهور شرارة كهربائية. وفسحة الفعل هي ابعد من فسحة الاتصال لان انبوبة من زجاج مهيَّجة جدًّا تظهر قوتها على ورقة الذهب للالكترومتر عن بعد عشرة اوعشرين قدمًا مع ان الشرارة البرقية لاتجتاز من الانبوبة الى راس الالكترومتر الى ابعد من عُقَد قليلة. والكهربائية التي تظهر في جسم قرّب الى جسمٍ مهيج ولم يصل الى فسحة الاتصال اي بدون اخذ شرارةٍ منهُ يقال انها حصلت بالحل الكهربائي وسياتي الكلام عليهِ

# الفصل الرابع

## في الحل الكهربائي

٢٢٥ اذا انفصل جسم موصل للكهربائية ووضع با لقرب من جسم مكهرب بحيث يكون ضمن فسحة الفعل وابعد عنهُ من فسحة الاتصال يتكهرب بتفريق نوعي كهربائيتهِ . ويقال حينئذٍ انهُ قد

## تكهرب بالحل

فليكن الجسم ا (شكل ١٦٦) مكهربًا ايجابًا. وليقرّب الموصل ب الراكز على عواميد فاصلة الى ا بحيث يكون ابعد عنهُ من فسحة الاتصال حتى لا ياخذ منهُ كهربائيتهُ فتظهر شرارة وضمن فسحة الفعل بحيث يظهر فعل كهربائيتهِ بهِ. فاذا علق ازواج من كرات لب السيسبان في الموصل المذكور احداها في الوسط والاخرى في اماكن مختلفة على الجانبين كما يرى (شكل ١٦٦) فكلٌّ من الزوجين المعلقين عند الطرفين تتباعد احدى كراته عن الاخرى اكثر من سائر الازواج والأُخر تتباعد اقل فاقل كلما اقتربت الى الوسط وهناك لا يوجد أثر للكهربائية. ويُعرَف من ميزان الفتل ان نصف ب الاقرب الى الجسم المكهرب قد تكهرب سلبًا والنصف الابعد ايجابًا. واذا اخذت الكهربائية من ا يفقد ب كل دلائل الكهربائية مع انهُ يبقى منفصلاً. ثم ليتكهرب ا سلبًا فطرف ب الاقرب يصير ايجابًا والابعد سلبًا. والحاصل ان الطرف الاقرب الى ا يمتلئ بنوع كهربائية يخالف نوع كهربائيتهِ والطرف الابعد يتكهرب مثلهُ.

شكل ١٦٦

ولايضاح الحل لنفرض ان ا تكهرب ايجابًا فالسيَّال الزجاجي اذًا عند ا يجذب نقيضهُ اي السيَّال الراتينجي في ب الى الطرف الاقرب ويدفع النوع المماثل لهُ اي الزجاجي الى الطرف الابعد. فاذا أُزيل ا او فقد امتلائهُ الكهربائي فالسيَّالان في ب يعودان يمتزجان بداعي تجاذُبهما فيرجع ب الى حالتهِ الطبيعية. وبالعكس لنفرض ا امتلأ بالسيال الراتينجي فحينئذٍ يجذب الزجاجي ويدفع السلبي في الجسم ب وكهربائيتهُ تُحَلُّ ويُفرِّق احد عنصريها عن الاخر بقوَّة الجذب والدفع التي للكهربائية المحنوية في ا

٢٢٦ ان مبدا الحل يتضح منهُ علَّة جذب الجسم المكهرب ابدًا للجسم الخفيف

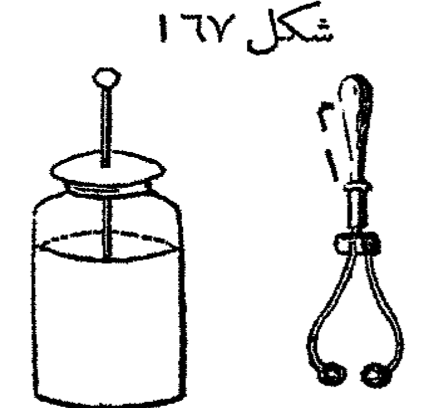
غير المكهرب. فان الجسم الخفيف يتكهرب اولاً بطريقة الحلّ اذ يكون الجانب الاقرب مختلف الكهربائية والابعد كهربائيتهُ مماثلة لكهربائية الجسم المكهرب المقرَّب اليهِ . فالجانب الاقرب اذًا يُجذَب والابعد يُدفَع وحسب ناموس اختلاف الجاذبية با لبعد تكون الجاذبية اعظم من الدفع فيميل الجسم الى القوة العظمى

٣٢٧ ان وجود الهواء في فسحة الفعل المتوسط بين الجسم ا والجسم ب يمنع اتحاد كهربائية ا با لتي هي نقيضها على الجسم ب . وذلك لان الهواء اذا كان جافًّا فهو فاصل جيد كما مرَّ. ولذلك اذا فصلنا بين الجسمين المذكورين بلوح زجاج يظهر الحل الكهربائي ايضًا غير ان فسحة الفعل في الزجاج يمكن ان تكون صغيرة جدًّا بدون ان يصل احد الجسمين الى فسحة الاتصال ويحصل شرارة . ثم على كلا الحالين اذا صار اتصال بين ب (شكل ١٦٦) والارض بواسطة موصل كسلسلة معدن وتكهرب الجسم ا ايجابًا بكثرة تجمع السالبة من الارض الى جانب الجسم ب الذي يلي ا . وحينئذٍ اذا وُصل بين الجسمين بمادة موصلة كما اذا لمس شخصٌ احدهما با ليد الواحدة والآخر با ليد الاخرى يحصل هزَّةٌ كهربائية للجسم. وذلك لهجوم كل من السيَّالين الكثيفين الى جهة الاخر بسرعة مارَّين على الجسم الموصل لكي يتحدا لشدة ميلهما الى ذلك . ومثلهُ اذا صفحنا لوح زجاج على الجانبين بمعدن تاركين منهُ حاشية نحو عقدتين لاجل مسكهِ وكهربنا الجانب الواحد بالآلة ولمسنا الجانب الاخر باليد تكثر الموجبة والسالبة على الجانبين فيحصل هزة كهربائية اذا وصل بينهما با ليدين وعلى هذا المبدا قد اصطنعت القنينة الليدنية كما سياتي

# الفصل الخامس

## في القنّينة الليدنية وخصائصها

٣٢٨ القنينة الليدنية هي قنينة كبيرة من زجاج مثل ب مغشاة من داخل ومن خارج بقصدير ما عدا فسحة عند اعلاها علوها عقدتان او ثلاثة (شكل ١٦٧). وهذه الفسحة اما متروكة عريانة او ملبّسة بفرنيش او بصفيحة رقيقة جدًّا من الشمع الاحمر ملتصقةً عليها. وفم القنينة مسدودٌ سدًّا محكمًا بغطاء من خشب صلب مشويٍّ يمر بمركزهِ قضيب معدني عمودي لهُ في راسهِ تفاحة وفي اسفلهِ سلسلة او شريطة معدنية تستقر على قعر القنينة او على جانبها بحيث تمس البطانة الداخلة. فبتقريب التفاحة الى الموصل الاعظم من آلة كهربائية اذ تكون الآلة مشغَّلة يمر سلسلة من شرار بين الموصل والقنينة تضعف رويدًا رويدًا الى ان تتلاشى. ويقال حينئذٍ ان القنينة قد امتلأت. ثم اذا اخذنا المُطلِق ا ذا الشعبتين المعدنيتين المدملكتي الراس المفصول بمسكة من زجاج م وجعلنا الكرة الواحدة تلامس الغشاء الخارج وقرَّبنا الآخر الى التفاحة في راس القنينة يظهر حالاً وميض نور كثيف مصحوب بصوت عالٍ. ثم بتقريب المُطلِق ثانيةً تمر شرارة ضعيفة هي فضلة الامتلاء وبعد ذلك لا تعود تظهر علامات لوجود الكهربائية. ويقال حينئذٍ ان القنينة قد تفرَّغت



شكل ١٦٧

ولاجل اتمام تجربات مختلفة كثقب ورقة سميكة او ثقب لوح من زجاج او غير ذلك بمرور مجرى كهربائي حيث لا يصلح المطلق المذكور ا قد اصطنعوا آلة اخرى مناسبة لذلك لاجل اطلاق او تفريغ الكهربائية يسمونهُ المطلق العام. وهذه صورتهُ (شكل ١٦٨).

شكل ١٦٨

فانهُ مؤلف من مائدة خشب مرتكز عليها عمودا ا وب. وعند راسي هذين العمودين مفصلان من نحاس س ود متصل بهما قضيبا نحاس مدملكا الراس لهما مسكتا زجاج. وتحت راسي القضيبين مائدة خشبية صغيرة ي مثبتة على عمود يرتفع او يهبط حسب الاقتضاء بواسطة برغي. اما المائدة الصغيرة المذكورة فقد صُنعت لكي توضع عليها المادة التي تتم بها التجربة بين راسي القضيبين ولاجل اتصال المجرى الكهربائي للاطلاق او التفريغ يُوصَل الغشاء الخارج من قنينة ليدن باحد القضيبين بواسطة سلسلة وتفاحة القنينة بالقضيب الآخر. وهذا المطلق يصلح لتفريغ امتلاء كهربائي ولو كان وافرًا جدًّا كالامتلاء الذي يحصل في البطّارية الليدنية المركبة من قناني عديدة كما سياتي

٣٢٩ ان القنينة المذكورة لقِّبت بالليدنية نسبةً الى ليدن احدى مدن هولاندا لكونها اكتُشفت اولًا هناك. ففي سنة ١٧٤٦ كان فيلسوف يروِّض نفسهُ في ليدن بتجربات كهربائية فخطر في بالهِ ان يكهرب كمية من الماء لكي يمتحن هل يتغير طعمهُ فوضع قليلًا منهُ في قنينة ثم سدها بفلينة وادخل في وسطها شريطًا من معدن يصل الى الماء ثم قرَّب هذا الشريط الى الآلة الكهربائية ماسكًا القنينة بيدهِ الواحدة ولم يشعر بشيء حينئذٍ وعندما اراد ان يرفع الفلينة ليذوق الماء مسّك الشريط في يدهِ الاخرى فحدث لهُ هزَّة كهربائية قويّة جدًّا اذ صار اتّصال بين الماء ويدهِ الاخرى الماسكة القنينة

فجرت الكهربائية بقوةٍ شديدة واحدثت هذه الهزة. فاشعر كانهُ قد ضُرب على ذراعيهِ وكتفهِ وصدرهِ ضربةً كادت تخطف نفسهُ وبقي يومين مريضاً من جرى تلك الضربة المزعجة. فقال انهُ لا يريد ان يعيد العملية فيحصل لهُ هزةٌ ثانية ولو بملك فرانسا كلهِ. ثم بعد ذلك اخذ العلماء يشتغلون ويبحثون عن هذا الامر فوجدوا ان القنينة الليدنية واسطة مفيدة لجمع الكهربائية لانهُ يمكن ان تملأ بكمية من السَّال الكهربائي وتحفظ تلك الكمية الى وقت لزوم تفريغها. ثم بعد ذلك اخترعوا البطارية الكهربائية المؤلَّفة من عدة قناني ليدنية لاجل جمع كمية وافرة كما سياتي. وبعد امتحانات شتى استنتجوا ما ياتي

## ٣٣٠ اولاً. القنينة تملأُ بتقريب تفاحتها الى الموصل الاعظم اذ تكون الآلة مشتغلة

وعند ملئها قد تتفرغ احياناً من ذاتها. والارجح ان ذلك يحدث عندما تكون تفاحتها نظيفة وجافة جدًّا. فلمنع حدوثهِ ترطَّب التفاحة المذكورة بالتنفُّس عليها

## ٣٣١ ثانيًا. جانبا القنينة المتقابلان كهربائيتاهما مختلفتان اي احداهما ايجابية والاخرى سلبية

فاذا قُرِّبت كرةٌ من لب السيسبان معلقة بخيط حرير الى تفاحة قنينة ممتلئة تُجذَب اليها اولاً ثم تندفع وبعد ذلك تجذبها بطانة القنينة الخارجة حتى تتكهرب من نوع كهربائيتها ثم تندفع وهلمَّ جرًّا. وسبب اختلاف كهربائيتيهما هو ان الغشاء الداخل لما يمتلئ من الكهربائية الزجاجية تدفع كهربائيتهُ التي تماثلها عن الغشاء الخارج وتجذب الراتينجية اليهِ بموجب مبدا الحل الكهربائي كما مرَّ. ولذلك يقتضي ان يكون موصل الى الارض كاليد او كسلسلة معدن لكي يكون ممر للمندفعة والمجذبة فتتكوَّم الراتينجية على الغشاء الخارج واذ لا سبيل

لامتزاجها لوجود الفاصل الزجاجي واحداهما تجذب الاخرى تبقيان على الغشائين فيبقى الامتلاء مدّةً مستطيلة بداعي التجاذُب الى ان تتبددا في الهواء اوعلى الزجاج بسبب وجود الغبار والرطوبة

## ٣٢٢ ثالثًا . لكي تمتلئ القنينة يجب ان يكون خارجها غير منفصل

فاذا ربطنا خيطاً في تفاحة قنينة ليدنية وعلقناها في الهواء بحيث تتصل بالموصل الاعظم وشغلنا الآلة فلا يصير امتلاء في القنينة . ويحدث ذات تلك النتيجة لو ارتكزت القنينة على عمود من زجاج او انفصلت بمادة اخرى . ويمكن ان تملأ ايضاً بجعل تفاحتها تتصل بالموصل الايجابي وغشاءها الخارج بالفارك

## ٣٢٣ رابعًا . يمكن ان تملأ قنينةٌ ثانيةً باتصالها بالغشاء الخارج من الاولى اذ تملأُ الاولى

الامتلاء الذي يصل الى القنينة الثانية هو من نفس نوع الامتلاء الأوّل ومن نفس درجة كثافتهِ تقريبًا بشرط ان تكون سعة القنينة واحدة . وكذلك اذا اتصل قنينةٌ ثالثةٌ او رابعة اواي عدد كان من القناني التي هي من مقدار واحد بعضها ببعض تمتلئ كل القناني من نوع واحد من الكهربائية غير ان درجة كثافتها تتناقص قليلاً في القناني المتوالية . فاذا كان مصدر الامتلاء من الاسطوانة او القرص في الالة الكهربائية مارًّا في الموصل الاعظم كما هو الغالب فالامتلاء يكون موجبًا او زجاجيًّا وان من الفارك فسلبيًّا

## ٣٢٤ خامسًا . يمكن ان تمتلئ قنينةٌ سلبيًّا باخذ الكهربائية من الفارك اذ يكون منفصلاً والموصل الاعظم غير منفصل

ولهذه الغاية السلسلة التي تُربط غالبًا بالفارك تُسترسل على الموصل

الاعظم. وايضاً يمكن ان تملأ قنينة سلبيًّا بمسك تفاحتها اذ تاخذ الكهربائية من الموصل الاعظم على الغشاء الخارج. ويقتضي حينئذٍ ان لا توضع على الارض بل ان تحملها يد الماسك في الهواء او توضع على فاصلٍ والاَّ يهتز الماسك هزَّةً مزعجةً لما لا يخفى

٣٣٥ سادساً. اذا مُلئَت قنينتان احداهما ايجابيًا والاخرى سلبيًّا وكانتا منفصلتين فاذا جُعِل اتصال بين الغشائين الداخلين لهما بواسطة الايصال بين التفاحتين لايحصل تفريغ ما لم يكن موصل بين الغشائين الخارجين

فاذا مُلئَت قنينة من الموصل الاعظم واخرى من الفارك ووُضع الاثنتان على بعد بعض عقد احداهما من الاخرى على ارجلٍ فاصلة فباتصال التفاحتين بالمطلق لاينتج تفريغ. ولكن اذا وُصِل بين الغشائين الخارجين للقنينة فتقريب المُطلِق الى التفاحتين ينتج حالاً تفرقعٌ قويٌّ ويحصل تفريغ. وذلك لانهُ اذا لم يُوصَل بين الغشائين الخارجين تبقى على كلٍ منهما كهربائية وتجذب التي على الداخل فتمنعها عن الانطلاق. وبين هاتين القنينتين المذكورتين المتامثئتين امتلاء مختلفًا اذ يُوصل بين غشائيهما الخارجين بمعدنٍ يمكن ان تُصنع تجربة يقال لها تجربة العنكبوتة الكهربائية . وهي ان يعلَّق تمثال من الفلين شبيهٌ بعنكبوتة بين تفاحتيها فالعنكبوتة تنجذب الى تفاحة الواحدة ثم تندفع عنها وتنجذب الى الاخرى وتخطر عدة خطرات على هذا الاسلوب لوقت طويل حتى تتفرَّغ القنينتان ولا تخفى على الفطن معرفة سبب ذلك مما تقدم

٣٣٦ سابعًا. امتلاءُ كل قنينة يمكن ان يقسم الى اجزاءٍ معيَّنة اي يمكن ان يؤْخذ نصفهُ او ربعهُ اواي جزءٍ آخر منهُ . وذلك يحصل باتصال الغشاء الداخل والخارج من أُخرى غير مكهربة من ذات مقدارها

وسمكها. ونقاس الامتلاءات بالكترومتر الربع

٢٣٧ ثامنًا. الكهربائية تتجمع على سطح الزجاج والغشاءان هما كموصلان فقط

وهذا يبرهن من النظر الى هذه الحقيقة وهي انهُ ان كان الغشاءان متنقلين حتى يمكن ازالتهما بعد امتلائهما فلا يظهر بينهما بعد الانتقال ادنى علامة لوجود الكهربائية مع انهُ لو وُضع مكانهما غشاءان آخران غير مكهربين ووصل بين الداخل والخارج لحدث التفريغ الاعتيادي وذلك يستدل منهُ ان كل الامتلاء كان باقيًا محفوظًا على سطوح الزجاج للقنينة

٢٣٨ تاسعًا. امتلاء القنينة الليدنية يمكن ان يحفظ لوقت مستطيل. وذلك لسبب التجاذب بين الكهربائية الخارجة والداخلة

ان الامتلاء يتبدَّد غالبًا بحركة دقائق الغبار او مواد اخر موصلة في الهواء بين احد الغشائين والآخر. او بصيرورة الصفيحة الزجاجية المتوسطة بينهما مرطَّبة فتفقد بذلك قوة الفصل فبالضرورة القنينة الليدنية تحفظ امتلائها في طقس جاف زمانًا اطول مما في طقس رطب. وطلي الجزء غير المغشى من القنينة بشمع احمر او فرنيش يمنع عن الرطوبة وبالنتيجة يمنع سرعة تبدُّد الامتلاء الكهربائي

٢٣٩ عاشرًا. لوح زجاج او صفيحة من الهواء او جسم آخر كهربائي يمكن ان يملأ كثيرًا او قليلاً على كيفية تشبه كيفية امتلاء القنينة الليدنية

فاذا غشَّينا جانبي لوح زجاج بقصدير متروكًا منهُ فسحة عقدتين غير

مغشاة عند حروفهِ ثم امسكنا اللوح عند زاوية واحدة منهُ وقرَّبنا عقدة الاصبع الى الغشاء الواحد والغشاء الاخر الى الموصل الاعظم فلوح الزجاج يمتلئ ويمكن تفريغهُ بتقريب راسي المطلق الى الغشائين المعدنيين المتقابلين . وصفيحة من هواء يمكن ان تملأ ايضًا على كيفية ملء صفيحة الزجاج غير انهُ لمّا كان الهواء يسهل تحريكهُ بالكهربائية بداعي سيولة دقائقهِ يجب ان تستعمل لذلك صفيحة منهُ اسمك من الزجاج . اما طريقة تجربة ذلك فهي بان يوخذ دائرتان من خشب تامّتا الاستدارة مصفحتان بقصدير قطرهما من قدمين الى اربعة. وتوضع احدى اللوحين على شيء موصل الى الارض وتعلّق الاخرى فوقها بحرير من حرير بالسقف بحيث تكون متوازية لها وعلى علو عقدة او نصف عقدة منها . واما اللوحة العليا المنفصلة اذ تتصل بآلةٍ كهربائية تصير الصفيحة من الهواء بين اللوحين ممتلئة وتسبب هزَّةً اذا لُمِستا في وقت واحد باليدين. غير ان الهزة المسببة عن الهواء في هذه الحال هي اقل قوة جدًّا من المسببة عن سطحٍ مستوٍ لزجاج مصفحٍ لان بعد الغشائين هنا اعظم جدًّا والفاصل بينهما اقل قوَّةً للفصل فلا تظهر والحالة هذه قوة تفريغ الكهربائية الّا عندما تكون الآلة مشتغلة . واذا لم يفرغ الامتلاء يحدث اصوات في الهواء المتوسط ما دام تكهرب الدائرة العليا باقيًا

٣٤٠ حادي عشر . اذا مُسك لوح زجاج ملبس بقصدير او بمعدن آخر عموديًّا على سطح الافق وحرفاهُ الاعلى والاسفل موازيان للافق معلّقًا فيهِ عند اعلى الغشائين خيطان على الجانبين متقابلان وكُهرِب بشرارة من الموصل الاعظم يرتفع كلا الخيطين جاعلين زاويتين متساويتين بينهما وبين سطح الزجاج . ثم اذا قُرِّب موصل كعقدة الاصبع الى احد الغشائين يهبط الخيط حالاً

على ذلك الجانب اذ تزداد زاوية ارتفاع الآخر حتى تبقى الزاويتان بين الخيطين كمية متساوية ابدًا

فان الكهربائيتين المتجمّعتين احداها على الغشاء الواحد والاخرى على الغشاء الاخر تهجمان بسرعة شديدة احداها الى الاخرى حالما يتيسر لهما موصل يجمع بينهما لكي يمتزجا لشدة ميلها الى الامتزاج وعند ذلك يحدث فرقعة قوية

٣٤١ ثاني عشر. تتفرغ قنينة بعد امتلائها بحسب ما ذُكر بتقريب كرتي المطلق احداها الى تفاحة القنينة والاخرى الى الغشاء الخارج منها او بواسطة موصل اخر كاليدين

## الفصل السادس

### في البطّارية الليدنية

٣٤٢ قد اشرنا في القضية الرابعة في الكلام على القنينة الكهربائية انهُ اذا اتصل عدة قناني بالتتابع بالتي تُملأ بالكهربائية اولاً بان يوصل بين تفاحة الملآنة وتفاحة التي تليها وبين تفاحة هذه والتي تليها الخ والاغشية الخارجة بعضها ببعض وبالارض بواسطة سلسلة من معدن تمتلئ كل القناني من نوع السيال الكهربائي الذي مُلئت منهُ الاولى . فاذا اصطُنع صندوق منفصل

موضوع ضمنهُ عدة قناني ليدنية على الاسلوب المذكور فتلك الآلة تُسمَّى بالبطارية الكهربائية. وقد تتصل الاغشية الخارجة للقناني بعضها ببعض بواسطة القصدير المبطن به الصندوق المذكور. ويستعمل من هذه القناني غالبًا اربعٌ الى اثنتي عشرة في بطارية واحدة. والقصد في ذلك تكثير الامتلاء الكهربائي عند الاحتياج اليهِ لاجل التجربات او غاية اخرى. فنرى ان البطارية الكهربائية تجري على مبدا القنينة الليدنية تمامًا ولا تفرق عنها الاَّ بتكثير عدد القناني. ولذلك لا نحتاج الى تكرار الشرح لايضاحها فكلما قيل في القنينة الليدنية يطابق مبدا البطارية

ان طريقة تفريغ البطَّارية هو كتفريغ القنينة اي بالجمع بين الزجاجية والراتنجية او السالبة والموجبة بموصل كما مرَّ وبما ان الامتلاء فيها يكون جسيمًا لكثرة القناني فتفريغها يكون مصحوبا بصوتٍ قويٍّ كصوت صاعقة واذا كان عدد القناني فيها وافرًا فقد يكون كافيًا لقتل الحيوان ولتذويب شرا بط معدن ومفاعيل أُخر تشبه مفاعيل الصاعقة. فليحتذر من ضررها

# الفصل السابع

## في بعض تجربات كهربائية

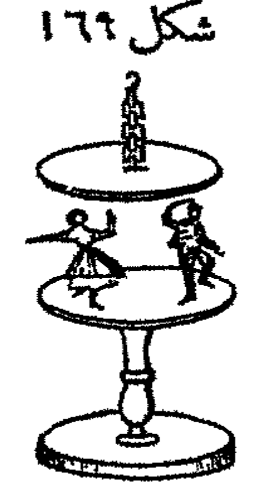
٣٤٣ انهُ بواسطة الآلة الكهربائية والقنينة الليدنية يمكن إتمام جملة تجربات كهربائية مسلّية مبهجة . منها اعطاء الهزة الكهربائية لعدد غفير من الناس على الكيفية الآتية . وهي ان يمسك الشخص الواحد بيد الآخر ويصطفّوا حلقةً ثم تشغّل الآلة ويجمع بين السلبيّة والموجبة بواسطة اتصال بين الاثنين في طرفي الصف الحلقي احدهما يمسك موصلاً الى السلبية والاخر يلمس الايجابية . وذلك يحصل بمسك الواحد سلسلة الفارك والاخر بتقريب يده او موصلاً اخر معدنيًّا ممسكهُ بيدهِ الى طرف الموصل الاعظم . فالسالبة والموجبة تدور احداهما الى الاخرى بسرعة لكي تلتقيا وتمتزجا فيحصل هزة كهربائية وتلك الهزة تكون قوة فعلها بحسب مقدار الامتلاء . واذا جمعنا بين السالبة والموجبة من امتلاء قنينة ليدنية حتى تجتازا في الحلقة المذكورة بان يمسك احد الشخصين المشار اليهما القنينة بيدهِ على الغشاء الخارج والاخر يمس تفاحتها تحصل هزّةٌ للحلقة ولا يجوز تفريغ امتلاء بطّاريةٍ قوية لاتمام هذه التجربة او يحصل ضرر عظيم يستلزم تلاشي الحيوة

٣٤٤ ومنها تقريب راس تمثال صغير مغطّى بشعرٍ طويل الى الموصل الاعظم لآلة كهربائية . فلتدافع الاجسام التي تتكهرب من نوع واحد يقف الشعر منتصبًا ويجعل لراس التمثال هيئة مرعبة . وذلك يظهر ايضًا بوضع شخص على كرسي منفصل عن الارض بقوائم من زجاج وتمسكه بيده موصلاً

يلامس الموصل الاعظم عند تدوير الآلة فيتباعد الشعر ويقف في كل الجهات

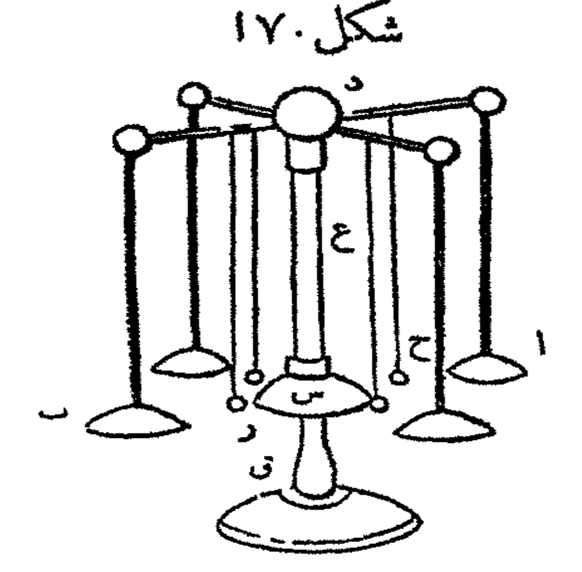
٣٤٥ ومنها انهُ اذا وُضع تماثيل صغيرة مصنوعة من لب السيسبان بين قرصين معدنيين احدهما معلق بالموصل الاعظم بواسطة سلسلة معدنية على موازاة الافق والآخر تحتهُ متصلاً بالارض وهو الذي توضع عليهِ التماثيل كما في (شكل ١٦٩). فعند تشغيل الآلة ترقص التماثيل رقصاً معجباً اذ تجذب وتدفع بالتداول ولا يخفى سبب ذلك مما مرَّ

شكل ١٦٩



٣٤٦ ومنها دقُّ الاجراس الكهربائية. وهي اجراس معلقة بسلاسل كما في هذا الشكل فالجرسان ا وب على الجانبين معلقان بسلسلتين على قضيب معدني ولكن الاوسط س منفصل عن الكرة المعدنية د بواسطة العمود الزجاجي ع ومتصل بالارض بواسطة القائمة ق والمطرقتان ح ور معلقتان بخيطين من حرير وهكذا يقال في الجرسين الاخرين في الشكل. فعند تشغيل الآلة اذ تكون د موصولة بالموصل الاعظم يتكهرب الجرسان على الطرفين ايجابا واما الاوسط المنفصل عن الموصل الاعظم فيصير سلبيا بالحلّ الكهربائي. والمطرقتان الصغيرتان بين الاجراس تجذب وتدفع بالتداول فتدوم الاجراس تدق ما دامت الآلة مشتغلة

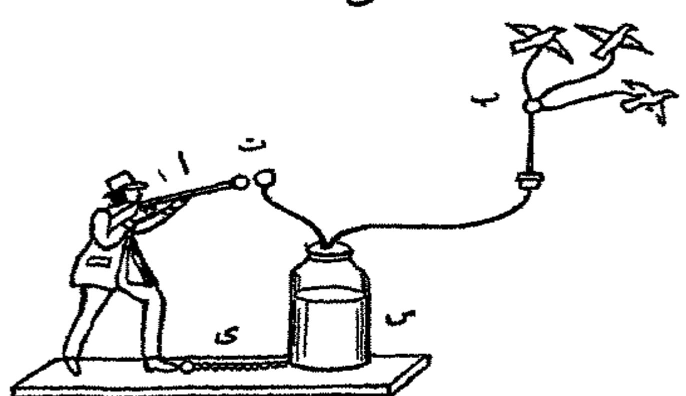
شكل ١٧٠




٣٤٧ ومنها تجربة العصافير. وهي مما توضح تفريغ القنينة الليدنية وتفصيلها كما ياتي. القنينة س (شكل ١٧١) قضيبها ذو شعبتين بنهاية احداها ب معلق اجسام من لب السيسبان مصنوعة على صورة عصافير وبنهاية الاخرى تفاحة

ت بواسطتها تاخذ القنينة الامتلاء من الموصل الاعظم. ثم بعد ان تمتلئ توضع على كرسيٍّ مفصول بقوائم زجاج وتفاحتها ت قريبة من البارودة ا المصنوعة من معدن بهيئة بارودة. فالعصافير المعلقة لانها ممتلئة بجنس واحد من الكهربائية

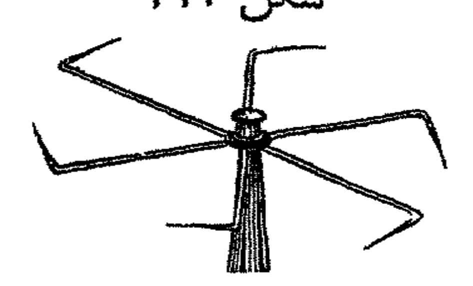
شكل ١٧١




تتدافع وتتطاير بعضها عن بعض كما ترى في الشكل. ثم اذا جعلت السلسلة ي المتصلة بخارج القنينة تمس قَدَم التمثال المعدني يصير اتصال بين الغشاء الداخل والخارج من القنينة. ولابد من حصول فرقعة كطلقة بارودة بين ا وت والعصافير اذ تكون قد فقدت كهربائيتها تسقط وتتعلق كما كانت قبل امتلاء القنينة وحينئذٍ يظهران العصافير قد وقعت من الطلقة كما يحدث مع الصياد حقيقةً

٣٤٧ ومنها تدوير الدولاب الكهربائي. وهو مؤلف من اربعة اذرع او اكثر من معدن ذات رؤُوس منحنية الى جهة واحدة كما يرى في (شكل ١٧٢) تتصل بطربوش معدني موضوع على راس ملاث حتى يدور عليهِ بسهولة. وهذا الملاث يتصل بالموصل الاعظم او قائم على موصل آخر متصل بهِ . فبجريان السيال الكهربائي على الاذرع وانفلاتهِ عن رؤُوسها المنعكفة عند تشغيل الآلة يدور الدولاب بموجب مبدا دوران طاحون

شكل ١٧٢



باركرالى خلاف جهة انحناء الرؤوس . وهذا الدولاب لا يدور في خلا وذلك دليل على ان الكهربائية تنفلت عن الرؤوس في الخلا بدون مقاومة

## الفصل الثامن

### في الكهربائية الكلفانية او القاطائية

٣٤٨ الكهربائية الكلفانية هي المهيَّجة او الناتجة عن الفعل الكيماوي من مادتين او اكثر غير متشابهتين احداهما تفعل بالاخرى . وتتضح هذه الكهربائية بتجربة سهلة وهي ان يوضع قطعة من فضة كريال مجيدي على اللسان وقطعة من توتيا تحتهُ . فما دام المعدنان مفترقين لا يظهر لهما تاثير ولكن اذا اتحد طرفاهما معًا يحصل اقشعرار واضح في اللسان وتظهر طعمة معدنية وإذا انطبقت العينان يشعران حينئذٍ بضوء خفي . وتنسب هذه النتيجة الى فعل كيماوي يظهر تلك اللحظة التي فيها احد المعدنين يلامس الاخر. فان ريق اللسان يفعل بالتوتيا فعلاً كيماويا او يؤكسد جزءًا من التوتيا وذلك يهيج الكهربائية لانهُ لا يصير عمل كيماوي بدون ان ينتج كهربائية . فعند ملامسة طرفي المعدنين يمر مجرًى خفيف من الواحد الى الاخر. وكذلك اذا وُضع قطعة من لوح

تنك على ظهر سمكة حية او ضفدعة ووُضع تحتها قطعة من توتيا يحدث تشنج في العضلات بمرور مجرًى كهربائي حينما يحصل اتصال معدني بين التوتيا والتنك

٣٤٩ ان اوَّل من لاحظ هذا الامر العلاَّمة كلفني الايطاليانى معلم التشريح سنة ١٧٩٠. فكان ما نبههُ الى ذلك هو انهُ بعدما شرَّح عدة ضفادع علَّق كلاًّ منها بصنَّارةٍ من نحاس كي تبقى الى حين لزومها لاجل ايضاح بعض قضايا في فن التشريح فاتفق انهُ علق عدة صنارات من نحاس على درابزون من حديد فلامس الضفادع فتشنجت اعضاؤها حينئذٍ تشنجاً شديدًا . وعند الفحص عن هذا الحادث عُرِف ان ملامسة معادن غير متشابهة بسطوح العضلات والاعصاب الرطبة هي العلة الوحيدة لحدوث التشنج

٣٥٠ ويتبيَّن فعل الكهربائية الكلفانية المستغرب بطريقة سهلة . فاذا قُطِعت ضفدعة عند القطن اعني الفقارات التي فوق العجز لكي يكون مكان القطع فوق مكان انتشار الاعصاب كما يبان في هذا الشكل الذي ترى فيهِ اعصاب الساقين والنخاع الشوكي ثم أُخذ الشريطان ن وز احدهما نحاس والاخر توتيا ووُضع احدهما تحت الاعصاب والاخر على عضلات الساق ترى انهُ اذا اتصل المعدنان تتشنج حالاً الاطراف السفلى تشنجاً شديدًا وترتجّ وتتمدَّد على طريقة مستغربة

شكل ١٧٢

ولا تحصل حركة ان لم يتصلا. واذا بقي الشريطان متلامسين يدوم هذا المنظر هنيهة قصيرة ولكنهُ يتجدد طالما يصير اتصال وانفصال بالتداول

٣٥١ وقد نسب كلفني حركات العضلات هذه الى نوع سيَّال عصبي في التركيب الحيواني يشابه السيال الكهربائي يمر من الاعصاب الى العضلات اذ يصير اتصال بينهما بواسطة اتحاد معدنين كما يحصل التفريغ بين الغشاء الداخل والخارج من قنينة ليدنية . ولذلك سُمّيَ السيال المذكور كهربائية حيوانية. ثم اخذ العلاَّمة فولطه الفيلسوف الايطاليانيّ يكرر تجربات كلفني فوجد انهُ لم يحدث تهيُّج عصبي ما لم يَصِر اتصال بين العضلات والاعصاب بواسطة معدنين مختلفين كالنحاس والحديد او النحاس والتوتيا. فلحظ ان الكهربائية تنتج عن مجرد ملامسة معدنين غير متماثلين تصدر من احدهما الكهربائية الايجابية ومن الاخر السلبية

وبعد ذلك تحقق ان العلّة الحقيقية للتهيج الكهربائي المسبب عن ملامسة معدنين غير متماثلين هي فعل كيماوي . ومن الاكتشافات المتاخرة تبرهن انهُ لايحدث فعل كيماوي بدون ظهور كهربائية وسُمّيت الكهربائية التي تنتج من فعل كيماوي الكهربائية الكلفانية او الفولطائية اعتبارًا لكلفني وفولطه اللذين اكتشفاها اوَّلاً . والقاعدة الاتية انما هي اساس فن الكهربائية الكلفانية وهي

اذا اتصل معدنان او جسمان موصلان للكهربائية مختلفان يصدر عن ذلك كهربائية بفعلٍ كيماوي فتجري الكهربائية الايجابية من المعدن الذي يكون الفعل عليهِ اقوى اي الذي تؤثّر فيهِ المادة المتصل هو بها تأثيرًا كيماويا باعظم سهولة والسلبية من الاخر. ويسمى المعدن الذي يظهر فيهِ التاثير الكيماوي المعدن الايجابي او

العنصر الايجابي والاخر المعدن السلبي وتسمى القوة الكهربائية حينئذٍ القوة المتحركة

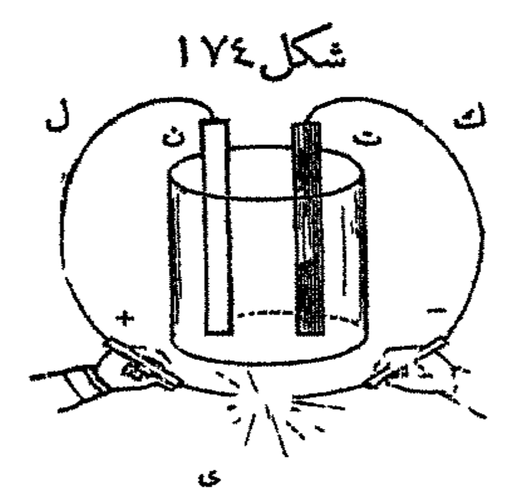
٣٥٢ اجسام موصلة مختلفة متلامسة تظهر قوات مختلفة او يصدر عنها انواع مختلفة من الكهربائية. وسنضعها با لتتابع مرتبة على كيفية يكون فيها كل واحد اذا لامس ما بعدهُ ذا سيال ايجابي وما بعدهُ سلبي وكلما بَعُدَ احد المتلامسين عن الاخر في ترتيب وضعهما الذي ستراهُ تظهر الكهربائية بملامستهما اقوى. وهذا ترتيب المواد المذكورة

| | |
|---|---|
| ١ التوتيا او الخارصيني | ٧ النحاس الاحمر |
| ٢ الرصاص | ٨ الفضة |
| ٣ القصدير | ٩ الذهب |
| ٤ الانتيمون | ١٠ البلاتين |
| ٥ الحديد | ١١ الرصاص الاسود او البلباجين |
| ٦ النحاس الاصفر | ١٢ الفحم |

مثال ذلك اذا تلامس التوتيا والرصاص ينتج عنهما مجرًى كهربائي سيَّالهُ الموجب من الاول والسالب من الثاني ولكنها تكون اقل فعلاً جدًّا من الناتجة من اتحاد التوتيا مع الحديد او مع النحاس واتحادهُ مع النحاس اقل قوة من اتحادهِ مع البلاتين او مع الفحم

فينتج مما تقدم انهُ لاجل الحصول على كهربائية كلفانية عند الحاجة يلزم تركيب ثلاثة موصلات او عناصر مختلفة لا بد ان يكون واحد منها جامدًا وواحد سائلاً اذ يصح ان يكون الثالث اما جامدًا او سائلاً

٣٥٣ اذا اتصل معدنان مهيجان للكهربائية بحيث يمكن ان تلتقي الايجابية والسلبية ويجريان في جهتين متقابلتين يقال انهُ قد تالف منهما دائرة كلفانية



شكل ١٧٤

مثالهُ ت ون (شكل ١٧٤) صفيحتان رقيقتان احداهما من توتيا والاخرى من نحاس احمر مغموستان في اناءٍ زجاجيٍّ يحتوي على مزيج من الحامض الكبريتيك مقدار واحد ومن الماء اثني عشر مقدارًا. فيمكن ان يصير اتصال بين الصفيحتين بشريطتين مثل ك ول ملحومتين بهما كما اذا تلامستا عند ي وحينئذٍ يحصل ما يقال له دائرة كلفانية. فان الكهربائية الموجبة هي الجارية من التوتيا في السائل الى النحاس ومن النحاس على الشريطين الموصلين الى التوتيا كما يُدَل على المجرى بعلامة الايجاب ا التي في الشكل. وفي الوقت نفسهِ يجتاز مجرًى من الكهربائية السلبية ايضًا من النحاس الى التوتيا على جهةٍ تعاكس الاولى تمامًا. واتصال المعدنين يكون غالبًا بواسطة شريطين من نحاس كما رايت يقال لنهايتيهما اولنهايتي اي موصل اخر يجعل الاتصال القطبتان احداهما القطبة الايجابية وهي نهاية الشريط الحامل الكهربائية الموجبة من النحاس والثانية السلبية وهي نهاية الشريط الحامل الكهربائية من صفيحة التوتيا. ولكن الكهربائية الناتجة من دائرة كلفانية بسيطة كهذه هي ضعيفة جدًّا فلقصد زيادة القوة الكهربائية يكرّر المعدنان والسائل ونتصل بعضها ببعض وتجعل دائرة واحدة فتكثر الكهربائية بتكرارها وهذا ما يقال له البطارية الكلفانية

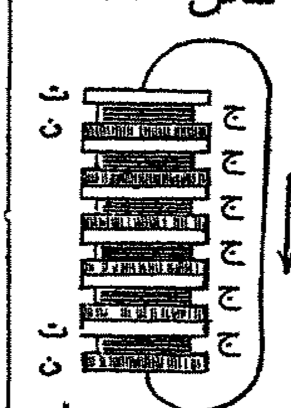
# الفصل التاسع

## في البطّارية الكلفانية

٣٥٤ البطّارية الكلفانية هي الآلة التي تتكرر فيها المواد التي تحصل منها الكهربائية الكلفانية على الاسلوب المار ذكرهُ لاجل زيادة القوة. وهي تستعمل لاجل اعمال تقتضي قوةً وافرة او دائمة كتذويب بعض مواد لا تفعل النار فيها او يكون فعلها فيها ضعيفا ولاجل تلبيس بعض مواد بمعادن وغير ذلك كما سياتي. وانواعها عديدة مختلفة وسنذكر بعضها الذي يحتاج اليها في الاعمال العمومية

رصيف ڤولطه. وهو الذي اصطنعهُ المعلم ڤولطه. فبعد ان اقتنع من تجربة الضفدعة ان علة حصول الكهربائية هي ملامسة المعدنين النحاس والتوتيا عمل رصيفًا من توتيا ونحاس احمر وجوخ مبلول على الاسلوب الاتي وبذلك ازدادت الكهربائية جدًّا. اما كيفية اصطناع رصيف ڤولطه فهي كما في هذا الشكل. فان ت تدل على اقراص او دوائر من توتيا ون على اقراص من نحاس وج على اقراص من جوخ مبلول بماء الملح وجميعها من مقدار واحد وجميع هذه مرصوفة فوق بعضها النحاس اولاً من اسفل ثم يليهِ الجوخ المبلول ثم التوتيا والنحاس والجوخ وهلمَّ جرًّا الى ان يصير الرصيف على علوِّ قدَمٍ او اكثر وتجب المحافظة

شكل ١٧٥



ابدًا على الترتيب الاول في كل السلسلة . فان مسسْنا القرص الاسفل من الرصيف باصبع مبال من اليد الواحدة والاعلى باصبع من اليد الاخرى يُشعَر بهزة اشبه بهزة القنينة الليدنية. فتحصل كهربائية كلفانية في هذا الرصيف حينما تتم الدائرة بالاتصال بين طرفيهِ بمادة موصلة

٣٥٥ البطارية الحوضية. هي ازواج من نحاس وتوتيا منزّلة في حوض (شكل ١٧٦)



شكل ١٧٦

والنحاس والتوتيا متلامسان. وبين كل زوجين فسحة قيراط او قيراطين. وهذا الحوض يملأُ سيَّا لاَّ يفعل في التوتيا فعلاً كيماويًّا مثل مذوَّب كبريتات النحاس او حامض كبريتيك مخفف بماء

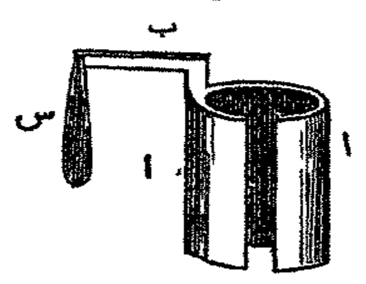
٣٥٦ بطارية كؤوس فولطه. هذه الآلة ايضًا اخترعها المعلم المذكور فانهُ بعد ان صنع تلك اهتم بان يصنع آلة على اسلوب فيها تكون الصفائح المعدنية عوضًا عن ان تُرْصَف الواحدة فوق الاخرى توضع الواحدة بجانب الاخرى قائمة على سطح الافق ومتحدة ازواجًا يتالف كل زوج من صفيحة توتيا وصفيحة نحاس متصلة ببعضها بواسطة قطع معدن مستطيلة . فرأى انهُ يقتضي لذلك عدة كؤوس من زجاج تملا بمزيج من الحامض والملح ويوضع في كل منها صفيحة من توتيا وصفيحة من نحاس على ترتيب ان صفيحة النحاس في الكاس الاولى تتصل بصفيحة التوتيا في الكاس الثانية وهلمَّ جرًّا مع ملاحظة حفظ الترتيب المذكور في كل السلسلة .

شكل ١٧٧

فان اتصلت الصفيحتان عند طرفي السلسلة بشريطين فجرى الكهربائية الايجابية يجري على الشريط المتصل بالتوتيا ت عند الطرف الواحد الى جهة صفيحة

النحاس ن في الطرف الاخر (شكل ١٧٧) تصبح القطبة التي تلي الطرف السلبي موجبة والتي تلي الطرف الايجابي سالبة كما لا يخفى وكلما زاد عدد الكاسات والصفائح زادت بحسب ذلك القوة الكهربائية

شكل ١٧٨

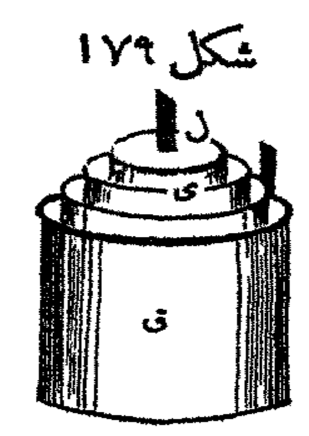



١٥٧ بطارية كروف. وهي كثيرة الاستعمال فان اا في هذا الشكل يدلان على احدى الاسطوانات المركبة منها هذه البطارية . وهي مصنوعة من توتيا علوها نحو ثلاث عقد وقطرها نحو عقدتين مكسوة بملغم من الزيبق ولها ثغرة على الجانب الواحد لكي ينفذ منها السائل. ولها ذراع ب خارج منها ملحوم فيه صفيحة بلاتين مستطيلة س عرضها نحو عقدة وطولها ثلاث بسمك التنك. والاسطوانة التوتيا هذه توضع في كاس زجاج تحتوي على الحامض الكبريتيك المخفف بمقدار من الماء يساوي اثني عشر مقدارًا مثلهُ. ويوضع داخلها كاس فخار مساميّ اي غير مدهون مثل د مملو بحامض نيتريك قوي. فهذه الكاس لا تقاوم مجرى الكهربائية الاَّ قليلاً لكون الماء يترشح منها.




وداخل هذه الكاس تدلَّى قطعة البلاتين الملحومة في طرف ذراع التوتيا الخارج من اسطوانة اخرى . وفي الاخرى تدلَّى قطعة بلاتين لاسطوانة قبلها وهلمَّ جرًّا. فتتكرَّر الاسطوانات الى ان تصل الى العدد الذي يراد. فانهُ بكاس واحدة يشعر بشرارة ضعيفة اذا لامس شريط متصل بالبلاتين بشريط يخرج من التوتيا ولكن تزداد القوة بازدياد عدد الكؤوس. فان بطرية كروف اذا كانت مركبة من اربع وعشرين كاسًا اذ تكون كل اسطوانة توتيا متصلة ببلاتين الكاس الثاني فلها قوة عظيمة وتتم بها كل التجربات المطلوبة لايضاح مبادئ الكهربائية الفولطائية . ويقال لهذه الكؤوس ازواج حلقات ايضًا لوجود معدنين في كل منها

شكل ١٧٩




٣٥٨ بطارية بنصن . وهي تشبه بطارية كروف وتحتوي على اسطوانة من فحم عوضاً عن رق البلاتين . وهذا الشكل يدل عليها حيث اسطوانة التوتيا موضوعة في اناء من زجاج ق وكاس الفخار ذات المسام ي داخل التوتيا واسطوانة الفحم ل مغموسة في الحامض النيتريك المحتوي في ي . وبقدر زيادة عدد الكؤوس في بطارية بنصن تزاد القوة كما في بطاريات اخر

٣٥٩ بطارية سمي . وهي تستعمل غالبًا لاجل الطلي . وهي مولفة من صفيحة حديد او فضة ملبّسة ببلاتين ومعلقة بين صفيحتين من التوتيا ملغمتين بزيبق . والصفائح المذكورة تغمّس في وعاء من فخار (شكل ١٨٠) يحتوي على حامض مخفف . ولها قطبتان احداها السلبية وهي المتصلة بالتوتيا والاخرى الايجابية وهي المتصلة بالبلاتين . وستاتي الاشارة الى الطلي بالفضة او الذهب او النحاس

شكل ١٨٠

# الفصل العاشر

## في ملاحظات البطارية الفلطائية

٣٦٠ لاجل ملاحظات هذه البطارية خذ صفيحة من التوتيا (شكل ١٨١) عرضها عقدتان وطولها اربع عقد ولتملغم بغمسها في الحامض الكبريتيك

شكل ١٨١

وفرك مقدار قليل من الزيبق عليها . ثم ضع التوتيا الملغمة في كاس زجاج س س تحتوي اثني عشر مقدارًا من الماء ومقدارًا من الحامض الكبريتيك يُصبح سطح التوتيا مغطًّى بالوف من فقاقيع الغاز الدقيقة . وهذه الفقاقيع مؤَلفة من غاز الهيدروجين الصاعد من انحلال الماء لان اوكسجينهُ يتحد مع التوتيا والهيدروجين يلتصق بسطح التوتيا بطريقة ميكانيكية . ثم اغمس في السائل صفيحة من النحاس النقي ن من نفس مقدار التوتيا ز فلا يحدث فعل ظاهر ما لم يتصل النحاس بالتوتيا بواسطة قضيب معدني د وحينئذٍ يلاحظ

(١) انهُ يتطاير من عند النحاس فقاقيع من غاز الهيدروجين تاتي من نحو التوتيا ولا يتطاير غاز من عند التوتيا

(٢) النحاس لا يفعل عليهِ السائل ولكن التوتيا تهترئ . ثم يلاحظ ان السائل يحتوي على اكسيد التوتيا . فالماء اذن قد انحل واوكسجينهُ اتحد بالتوتيا وهيدروجينهُ انفلت من عند النحاس

(٣) حينما يرفع القضيب د يشعر بشرارة دقيقة

(٤) اذا اتصلت الصفيحتان بواسطة شريط بلاتين رفيع طولهُ نصف عقدة يصير الشريط حاميًا محمرًّا

(٥) اذا اتصلت الصفيحتان بقضيب زجاج او مادة اخرى غير موصلة للكهربائية لا يحصل تاثيرات كهذه . ومن ذلك يستدل على ان القوة الصادرة هنا هي الكهربائية نفسها

# الفصل الحادي عشر

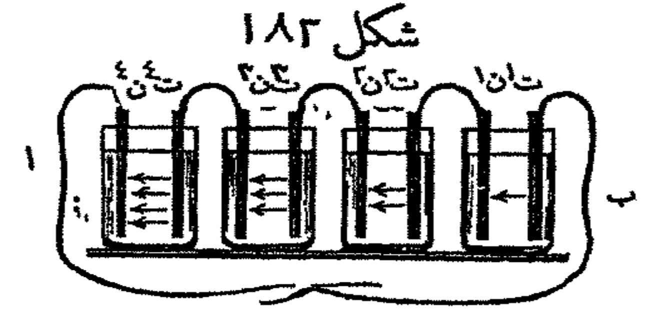
## في الكهربائيتين السالبة والموجبة وقطبتيهما

٣٦١ انَّ الكهربائية الموجبة او الزجاجية تجري من التوتيا في السائل الى النحاس ومن ثم في الشريط الموصل الى التوتيا ايضاً فتكمل دائرة تامة. واما الراتينجية او السلبية فتجري في الجهة المتقابلة اي من النحاس في السائل الى التوتيا ومن ثم الى النحاس وهذا ما يقال لهُ دائرة ڤلطائية بسيطة. وهذا المجرى الكهربائي صادر عن انحلال الماء واتحاد اوكسجينهِ بالتوتيا كما مرَّ. ويجري الهيدروجين الى النحاس واما الهيدروجين في بطارية كروف فلا يتطاير من سطح البلاتين كما من سطح النحاس في التجربة المذكورة سابقًا بل يمتصهُ الحامض النيتريك الذي يفقد جزءًا من اوكسجينهِ ومن جرى ذلك يظهر بخار وافر

٣٦٢ ان الكهربائية الفولطائية قد تزاد قوتها الى ما شاء الله اذ تصنع بطارية بتركيب سلسلة مستطيلة من هذه الدوائر بحيث تكون الكهربائية الايجابية الناتجة من كل دائرة تجري الى طرف واحد من

السلسلة والسلبية الى الطرف الاخر. فهذا الشكل يدلُّ على سلسلة من عدة دوائر او كؤُوس فولطائية بسيطة متحدة في كل دائرة مؤلفة من توتيا ونحاس مغموسين في حامض مخفف فالكهربائية الموجبة الناتجة في الدائرة الاولى تجتمع عند نَ ومن

شكل ١٨٢



ثم تجري على الشريط الموصل الى تَ ومن هناك تجتاز الى نَ. ولكن الكهربائية تنتج ايضاً في الدائرة الثانية والمجتمع منها على نَ يتحد مع السيال الايجابي الذي قد جاء من الدائرة الاولى. ثم ان كل السيال الايجابي المتجمع على نَ يمر على الشريط الى تَ ويجتمع على نَ مع السيال الايجابي الناتج في الدائرة الثالثة. وعلى هذا المنوال كل السيال الموجب الناتج في الكؤُوس المتوالية يجري الى جهة المادة النحاسية الاخيرة نَ اذ يجري كل السيال السلبي من جهة نَ الى مادة التوتيا الاولى تَ. فاذا قرِّب شريط خارج من نَ الى شريط خارج من تَ حتى يتلامسا فكل المجرى الايجابي بعد ان يكون قد تجمع عند نَ كما يدل على جهة جريانهِ بالسهام الصغيرة يمر على الشريط ا الى تَ وكذلك يمر السلبي على الشريط ب وقد تجمَّع عند تَ الى جهة نَ عكس جهة جريان السيال الايجابي. فيكون طرف ب اي القطبة المتصلة بالتوتيا هي السالبة وقطبة ا المتصلة بالنحاس هي الموجبة لما مرَّ. فاذا حسبنا ان كل جزءٍ من السلسلة ينتج كمية متساوية من الكهربائية لكمية اي جزءٍ سواهُ من البطارية تماماً فالمجرى يزداد بنسبة زيادة عدد الاجزاء في البطارية

# الفصل الثاني عشر

## في الفرق بين كهربائية الفرك والكهربائية الكلفانية

٣٦٣ ان الكهربائية الكلفانية التي تحصل بفعل كيمياوي لاشك انها من نفس نوع الكهربائية التي تتهيج با لفرك كما تبرهن (رقم ٣٦٠) غيران الاولى تختلف عن الثانية بكونها اقل كثافةً وقوةً منها . فبطارية كلفانية ذات خمسين حلقة لا تجعل الاَّ تباعدًا طفيفًا في الكترومتر ورق الذهب . وانما شرارة فقط من الالة الكهربائية فعلها بالالكترومتر اقوى جدًّا من فعل البطارية المذكورة . وبطارية كلفانية ذات الف زوج من الصفائح لا تدفع جسمًا دفعًا كهربائيًّا بمقدار ما يدفعهُ قضيب صغير من الشمع الاحمر المهيج بفرو . ويتضح لك ذلك من النظر الى الحرارة فان مقدار الحرارة في غرفة دافية هو اعظم جدًّا منهُ في لهيب مصباح مع ان الاولى مقبولة والثانية ان مست تسبب المًا مبرحًا بعظم كثافتها . ومثل ذلك قد يملا الجسم بمقدار من الكهربائية الكلفانية بدون اذى مع انهُ لو كان بكثافة كهربائية الفرك لاباد الحيوة . ومن هذا الفرق في الحجم او الكثافة ينتج ثلاثة امور

(١) دوام مجرى الكهربائية الكلفانية. فالكهربائية الكلفانية اذ تكون ذات حجم متسع وقوة ضعيفة قد يدوم مجراها اللطيف ساعاتٍ عديدة. اما كهربائية الفرك اذ تكون صغيرة الحجم عظيمة الكثافة وبالنتيجة قوية الفعل تمر في الاجسام التي تعترض لها حالاً وبقوة شديدة

(٢) ضعف اجتيازها في الاجسام غير الموصلة. فانها اذ كانت ذات قوة ضعيفة تسير الوفًا من الاذرع في شريطة معدن ولا تجتاز غطاءً دقيقًا من حرير تنفصل بهِ الشريطة مع ان ذلك ليس الاَّ مانعًا ضعيفًا في طريق كهربائية الفرك

(٣) قلة استطاعتها ان تمر من موصل الى اخر يجاورها . فلاجل حصول مجرًى يقتضي اولاً ان تجعل قطبتا الدائرة الفلطائية في التماسّ الاعتيادي او ان تكون احداهما قريبة جدًّا من الاخرى . ثم بعد ذلك قد تفترق القطبتان كثيرًا او قليلاً حسب كثافة البطارية بدون انقطاع المجرى

تنبيه . ان ازدياد مقدار الصفائح المعدنية في بطارية فولطائية يزيد مقدار الكهربائية لا كثافتها وازدياد عدد الصفائح يزيد كثافتها لا مقدارها ولا يخفى على الفطن ذلك مما مرَّ

# الفصل الثالث عشر

## في قوات الايصال للموصلات والمفاعيل الكيمياوية للمجرى الفلطائي

٣٦٤ ان قوة الايصال في المواد الموصلة للكهرباء تختلف

باختلافها . وتعرف قوة موصل من مقاومتهِ للمجرى الكهربائي .
ويراد بمقاومتهِ لهُ افلاتهُ جانبًا منهُ . وقد عرف بالتجربة ان مقاومة
موصل واحد معدني لمجرًى كهربائي يختلف بالاستقامة كطولهِ
وبالقلب كقطرهِ . وفي معدنين مختلفين من طول واحد وقطر
واحد بمقدار ما تكون مقاومة احدهما لمرور الكهربائية اقل من
مقاومة الاخر تكون قوتهُ للايصال اعظمَ وبالعكس فتختلف قوة
الايصال في الموصلات بالقلب كمقاومتها للمجرى الكهربائي

وقد اصطنع الجدول الآتي بحسب ذلك وفيهِ تظهر نسبة قوات الايصال
لمعادن مختلفة اذ تحسب قوة الايصال للنحاس ١٠٠

| | | | |
|---|---|---|---|
| الفضة | ١٠٨ | القصدير | ١٨ |
| النحاس | ١٠٠ | البلاتين | ١٦ |
| الذهب | ٨٣ | الحديد | ١٦ |
| التوتيا | ٣٣ | الرصاص | ١٠ |
| النحاس الاصفر | ٣٠ | الزيبق | ٣ |

فيظهر من ذلك ان شريطاً من نحاس طولهُ ١٠٠ قدم يقاوم مجرى
كهربائيًّا نفس المقاومة التي يقاومها شريط من بلاتين طولهُ ١٦ قدمًا او من
رصاص طولهُ ١٠ اقدام اذا كانا من ثخن واحد

اما قوة السائلات للايصال فتعرف نسبتها من الجدول الآتي اذ يحسب
كبريتات النحاس ١٠٠

| | |
|---|---|
| مزيج كبريتات النحاس | ١٠٠ |
| الحامض الكبريتيك الذي ثقلهُ النوعي ١٫٢٣ | ٣٥٤ |

الماء الذي فيهِ ٠،٠١ من ملح الطعام ٥٣

الماء المقطر ١/٤

وانما قوة الايصال للسائلات فهي صغيرة جدًّا بالنسبة الى تلك التي للمعادن. فان قوة الايصال للنحاس هي ١٦٠٠٠٠٠٠ مرة اعظم من التي لمزيج من كبريتات النحاس غير انهُ بزيادة مساحة قطع السائل الموصل يمكننا ان نجعل قوتهُ في الايصال مساوية للتي للمعدن. فان اسطوانة نحاسية قطرها عقدة لها قوة للايصال مثل قوة اسطوانة ماء مالح قطرها ٥٠٠ قدم

٣٦٥ من مفاعيل المجرى القلطائي انهُ اذا مرَّ على شريط معدني صغير يُحمِي الشريط وان كانت كثافة المجرى وافية يذوب الشريط او يحترق. ونفس المجرى الذي يرفع درجة الحرارة قليلاً في شريط من قطر معلوم يجعل شريطًا ادق منهُ مشتعلاً الى درجة الابيضاض ويذوب او يحرق اخر ادق من الثاني ايضًا

اذا اتصل قطبتا بطارية كروف المولفة من ٢٤ زوجا بشريط دقيق من حديد او بلاتين طولهُ قدم فالشريط يحمى ويحمر. فان نقص طولهُ او سمكهُ يذوب او يحترق. ثم ان نفس المجرى الذي يرفع درجة الحرارة قليلاً لشريط من الفضة او النحاس يذوِّب شريطاً من البلاتين من نفس طولهِ وسمكهِ

٣٦٦ ومنها الاحراق. فان الحرارة التي تظهر من المجرى الفلطائي قد تستعمل لاحراق مواد تشتعل او تلتهب فاذا قرِّب شريط من بلاتين محمِي بمجرى فولطائي الى وجه الايثير او الكحول يشتعلان حالاً او اذا قرِّب الى بارود يلتهب حالاً. واذا أُدخل شريط

صغير من بلاتين في علبة من البارود ومرّ المجرى الفلطائي في الشريط يحمى فيلتهب البارود . وقد يمكن ان يلهب البارود عن بعد نصف ميل او اكثر من البطارية . واذا انفصلت شرايط موصلة بصمغ هندي شديد الجمودة وغمست بالماء يظهر ذلك الفعل بسهولة تحت الماء . وبحسب هذا المبدا قد أُكمِلت جملة اعمال مفيدة تتعلق بمصالح مساحية كعمل الطرقات وخلافها

## الفصل الرابع عشر

### في النور الكهربائي والهزّة الكهربائية

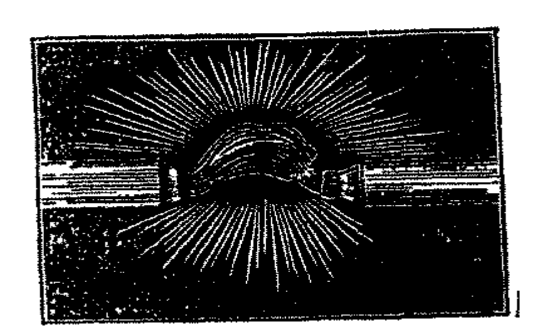
٣٦٧ انهُ اذا وجد سيال كهربائي بكثرة يُصحَب غالبًا بنورٍ. ولا فرق في الجوهر بين النور الناتج من المجرى الفلطائي والناتج من الالات الكهربائية. فكلما يقال عن احدهما يقال عن الاخر غير ان نور المجرى الفلطائي يدوم مدة دوام المجرى الذي يبقى برهة مستطيلة والنور الناتج من كهربائية الآلة يزول سريعًا بزوال مجراهُ

اذا اتحد الشريطان المتصلان بقطبتي بطارية تظهر شرارة بيضاء مصحوبة بأزيزٍ . واذا غمسنا طرف احدى الشريطين في وعاء زيبق وقرّبنا

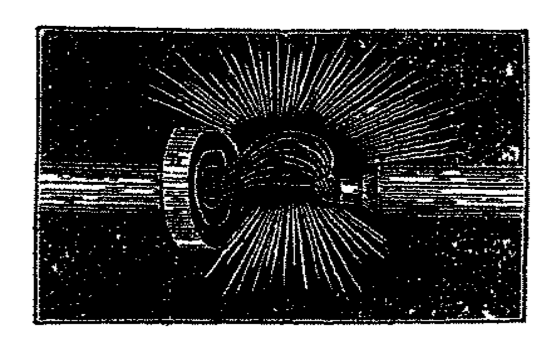
الاخر الى وجه المعدن ترى شرارة لامعة. واذا ربطنا شريطاً دقيقاً من فولاذ باحدى قطبتي البطارية وقربنا الشريط الى سطح الزيبق المتصل بالقطبة الاخرى. بحيث يلامسهُ يحترق الفولاذ حالاً. وقد يُحرَق زنبرك ساعة من فولاذ على هذا الاسلوب . وان صُبَّ ماءٌ على الزيبق فقد تظهر الشرارة من سطح الزيبق تحت الماء

٣٦٨ ان النور الكهربائي الاسطع ما يكون الذي يمكن اصطناعهُ هو ما يحصل حينما تتحد قطبتا البطارية بقطعتين من فحم صلب كفحم السندجان وهتان القطعتان من الفحم تصنعان على هيئة قلمي رصاص طول كل منهما عقدة ونصف او عقدتان وتربط الواحدة منهما بالشريط الواحد والاخرى بالاخر من البطارية راس الواحدة يقابل راس الاخرى كقطبتين. واذ كان الفحم موصلاً غير تام يجعل منيرًا جدًّا بواسطة المجرى. واذا انفصلت النقطتان

شكل ١٨٣



١٨٤



الى بعد قصير يمر لهيبٌ مضيءٌ بينهما كما يدل عليهِ (شكل ١٨٣). واذا قُرِّب الى هذا اللهيب قطبة قطعة مغناطيس يتخذ هيئة منحنية وفعل المغناطيس قد يكون قويًّا حتى انهُ يطفي اللهيب جميعهُ . وهذا النور الناتج في هذه التجربة لا يستلزم وجود مادة محترقة. لان الاشتعال قد يكون اغزر في الخلاء او في اي غاز غير قابل الاحتراق . واذا وضع في مكان احد قلمي الفحم قطعة من الفحم على هيئة كاس صغيرة كما ترى في (شكل ١٨٤) ووضعنا قطعة صغيرة

من الذهب او البلاتين فيها فبتقريب القلم الاخر اليها يذوب المعدن او يحترق بكثافة اللهيب الكهربائي

٢٦٩ ثم اذا ارسل المجرى الفلطائي على ورقة معدن رقيقة يحترق المعدن ويختلف لون اللهيب باختلافهِ . فان ورقة الذهب تشتعل بنور ابيض يضرب الى الزرقة ويجعل اكسيدًا ذا لونٍ بني غامق. واما ورقة الفضة فتشتعل بلهيب اخضر زمردي لامع والتوتيا بنور ابيض باهر . واما النحاس فيشتعل بلهيب مخضر يضرب الى الازرقاق يصعد منهُ دخان اخضر

٢٧٠ ثم ان النور الكهربائي يختلف طولهُ ولونهُ وهيئتهُ باختلاف طبيعة الموصلات التي يمر بينها شرار وباختلاف المادة المتوسطة بين الموصلات . فاذا كانت الموصلات افضل للايصال فالشرار الكهربائي يكون اسطع . لان الشرارة الماخوذة من الموصل الاعظم بواسطة كرة معدنية كبيرة هي قصيرة مستقيمة مبيضة وبواسطة كرة صغيرة هي اطول وفي طريق ذي تعاريج . والماخوذة بعقدة الاصبع التي هي اقل قوة في الايصال تكون ارجوانية او ذات لون احمر فاتح . والماخوذة بواسطة الخشب او الثلج او النبات الرطب او الماء هي حمراء . واذا قربنا كرة صغيرة من الكرة التي في الطرف الموصل الاعظم يحصل شرارة اطول مما اذا قُرِّبت الى الموصل نفسهِ . والشرارة الاطول والاكثر تعاريج تحصل بتقريب تفاحة الجرة الليدنية الى كرة الموصل الاعظم . والسيَّال يجتاز من نقطةٍ مكهربة ايجابًا على هيئة حزمة او قلم من الاشعة ومن نقطةٍ مكهربة سلبًا كنجم منير

وقد وجد بالامتحان ان الشرارة الكهربائية تجتاز باكثر سهولة في الهواء المترطب وفسحة الاتصال بين الموصلين تزداد بحصر الهواء. ففي انبوبةٍ تجتاز شرارة في فسحة اربعة اقدام او اكثر عوضا عن فسحة خمس او ست عقد في الهواء التي هي فسحة الاتصال الاعتيادية

٣٧١ واما الهزّة الكهربائية فاذا بلّل شخص يديهِ بماء مالح ومسك الشريطين المتصلين بقطبتي بطارية يشعر بهزة شديدة مشنجة للاعصاب والعضلات حينما يبتدي المجرى ان يجري وايضاً حينما يبطل. واما في اثناء ذلك مدة بقاء المجرى يشعر بسلسلة هزات متوالية كل منها اخف من التي قبلها

واعلم ان شدة الهزة تتوقف على عدد الصفائح في البطارية وليس على مقدارها. فلكي نجعل تاثيرًا يشعر بهِ يقتضي لذلك من عشر الى خمس عشرة من الصفائح. وبطارية ذات خمسين الى مئة زوج تحدث تشنجًا شديدًا للاصابع والذراعين والصدر. واذا كانت كثيرة على احدى اليدين يشعر باحتراق في تلك البشرة. واذا عدة اشخاص بلّلوا ايديهم بماء مالح ثم وصلوا ايديهم بعضها ببعض كما تقدم القول في الكلام على البطارية يهتز كل الصف بغتةً. ويمكن حصر الهزة بسهولة في اي جزء شئنا من البنية الانسانية وقد عرف من الاختبار انها نافعة لبعض انواع الامراض

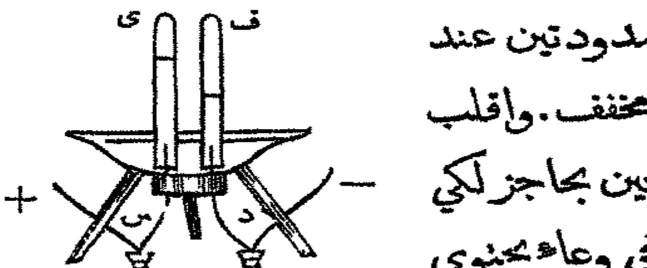
ثم انهُ ان مرّ مجرى بطارية فولطائية في جسم انسان او حيوان قد زالت منهُ الحيوة حديثًا تنقبض عضلاتهُ انقباضًا شديدًا وتتقلّص. وهكذا تجعل الذراعين والساقين تتحرك بسرعة والعينين تنفتح وتنطبق بينما الفم وكل تكاوين الوجه تتحرك كانها تتكمّش من الوجع

# الفصل الخامس عشر

## في مفاعيل الكهربائية الكيماوية والميكانيكية وسرعتها

٢٧٣ انهُ من مفاعيل المجرى القلطائي اذا كان ذا كثافة كافية ان يحل سائلاً مركبًا الى عناصرهِ اذا جعل يمر فيهِ . وتلك العناصر يظهر انها تتحرك حينئذٍ الى جهات متضادة احدها في جهة المجرى الايجابي والاخر في ضدها . والواحد يفلت عند القطبة الايجابية والاخر عند السلبية

ان الماء مركَّب من غازين اوكسجين وهيدروجين على نسبة حجم واحد من الاوكسجين وحجمين من الهيدروجين .



شكل ١٨٥

خذ انبوبتي زجاج ي و ف مسدودتين عند الطرف الواحد واملاها بحامض مخفف . واقلب الانبوبتين سادًّا الطرفين المفتوحين بحاجز لكي لا ينصب الحامض . واغمسها في وعاء يحتوي ايضًا حامضًا مخففًا وارفع الحاجز . ولتتحد الشريطتان س و د بقطبتي البطارية القلطائية اذ تدخلان قليلاً في الانبوبتين ي و ف . فحالما تتصل الدائرة القلطائية يخرج فقاقيع غازٍ من رؤُوس الشريطتين ويصعد في الانبوبتين ي و ف غير انهُ يجمع في انبوبة واحدة مضاعف ما يجمع في الاخرى . ولما

تجمع كمية كافية من الغاز فان اطفانا مصباحاً صغيراً وادخلناهُ الى الانبوبة ي حالما ينطفي ضوءهُ يعود يتضوأ. وذلك دليل على ان الانبوبة قد احتوت اوكسجين. وان مزجنا كمية صغيرة من هواء الجلد مع الغاز في الانبوبة ف وقرَّبنا لهيبًا تحصل فرقعةٌ ومن ذلك يستدل على ان هذه الانبوبة قد احتوت هيدروجين ايضاً لان نيتروجين الهواء اذ يجتمع مع الهيدروجين يتفرقع بالاحتراق كما يعرف من علم الكيمياء

٣٧٢ وقد علَّل عن ذلك بعضهم تعليلاً ظريفاً كما ياتى ليكن ا و ٢ و٣ الخ دالة على سلسلة من دقائق الماء كل منها مركب من ذرة اوكسجين متحدة مع ذرة هيدروجين. فان ادخلنا الكهربائية الموجبة الى السائل عند م اذ تكون السالبة عند ن تحل الموجبة الدقيقة الاولى ١ من الماء وذرة الاوكسجين تفلت الى الانبوبة فوقها بينما ذرة الهيدروجين تتحد مع اوكسجين الثانية ٢ وهيدروجين الدقيقة ٢ يتحد مع اوكسجين ٣ وهيدروجين ٣ مع اوكسجين ٤ وهلمَّ جرًّا الى الدقيقة السادسة

شكل ١٨٦

التي يفلت هيدروجينها . واما القطبة السالبة فبالعكس لانها اذ تحل الماء تفلت الهيدروجين الى انبوبتها وترسل الاوكسجين الى الموجبة وعلى هذا الاسلوب يحصل انحلال وتجدُّد تركيب دائمين لدقائق الماء في كل الخط بين القطبتين ولكن عند القطبتين تفلت الاجزاء وبواسطة المجرى الفلطائي قد حلُّوا اجساماً عديدة مركبة

٣٧٣ الطلي . ومن مفاعيل المجرى الفولطائي الطلي او التمويه. وهذه الثمرة من انفع اثمار الكهربائية. لانهُ بواسطة المجرى الكهربائي يمكن ان يلبَّس اي جسمٍ كان باي معدنٍ شئنا . فالمجرى الكهربائي

اذًا واسطة للتركيب كما انهُ واسطة للحل كما تقدم. فقد تطلى بهِ بعض اواني معدنية او غير معدنية دنية القيمة بذهب او بفضة او بنحاس

أَمَّا طلي الفضة او النحاس بالذهب فهذه قاعدتهُ. خذ مزيجًا ثلثهُ من حامض النيتريك وثلثاهُ الباقيين من حامض الميوراتيك او الهيدروكلوريك وضع فيهِ من الذهب مقدار جزء من اثني عشر من المزيج. ثم احمِ المزيج بعد وضع الذهب قليلاً في وعاءٍ من زجاج او فخار صيني عال فيذوب الذهب حينئذٍ في الحامض. ثم جفِّفهُ إِمَّا بواسطة الغليان او بتعرُّضهِ لحرارة الشمس. وبعد ان يجف اسكب لهُ مقدارًا من الماء المقطر او الصافي يساوي ستين ضعف الذهب في المزيج اي اذا كان الذهب درهم اسكب من الماء ستين درهم وهلمَّ جرًّا وضع ايضًا في المزيج من سيانور البوتاسا مقدار اربعة اضعاف الذهب. ثم احفظ المزيج في مكان مقدار اربعة وعشرين ساعة او اكثر لكي تصفى فيكون بعد ذلك معدًّا للطلي. ولكن حينما تبتدي بالطلي يقتضي ان تسخِّنهُ الى نحو ١٣٠° فهرنهيت. فاذا اردنا ان نطلي ملعقه فضة بذهب مثلاً فالملعقة يجب ان تربط اوَّلاً بقطبة البطارية السالبة اي المتصلة بالتوتيا اذ تربط سبيكة من ذهب بالقطبة الموجبة واذا كانت البطارية من كووس فولطه

يقتضي ان تكون ذات ست حلقات . ثم يغوّص كلاهما في المزيج الذي قد أُعدّ للطلي . فبعد تشغيل الآلة ينحل المزيج والذهب ينفرش كغشاء على الملعقة . ثم يتحد المزيج بواسطة الكهربائية مع جزء اخر من سبيكة الذهب المربوطة بالقطبة الموجبة عوض الذهب الذي قد خسرهُ فيحفظ المزيج بحالة واحدة من القوة الى ان تنتهي السبيكة

اما طلي النحاس او خلافهِ بالفضة فقاعدتهُ . خذ مقدارًا من الفضة وضعهُ في خمسة مقادير من الحامض النيتريك المخفف بمقدارٍ مثلهِ من الماء فتكون كمية الحامض المخفف عشرة اضعاف الفضة. واحمِ المزيج قليلاً في وعاء من زجاج حتى تذوب الفضة. ويقتضي الاحتراز من تنفس الغاز الخارج حينئذٍ لانهُ مضر . ثم اضف الى المزيج الحاصل مثلهُ من الحامض الميوراتيك لكي ترسب الفضة في القعر على هيئة رسوب ابيض . وبعد كم دقيقة اذ يرسب جيدًا اسكب الماء عنهُ وضع فيهِ ماء نظيفًا وبعد ان يرسب اسكب الماء ايضًا وهكذا الى ان يتغسَّل اربع او خمس مرات. ثم ضع في الراسب المشار اليهِ مقدارًا من الماء الصافي اربعين ضعف الفضة الموضوعة للمزيج واضف الى ذلك من سيانور البوتاسا ثلاثة اضعاف الفضة واحفظ المزيج مدة ٢٤ ساعة. ثم بعد ذلك صفِّهِ بالورق النشَّاش

او خلافهِ فيكون معدًّا للطلي. فيُطلَى ما يراد طليهُ بغمسهِ في المزيج المُعَد مربوطًا بالقطبة السالبة من بطارية كهربائية مع سبيكة من الفضة مربوطة بالقطبة الموجبة منها على اسلوب الطلي بالذهب

اما طلي بعض المعادن او المواد بالنحاس فقاعدتهُ ان تاخذ مقدارًا من الماء وتذوّب فيهِ كبريتات النحاس اي الشب الازرق حتى يُشبَع المذوّب اي لا يعود يذوب فيهِ الشب. ثم صب في المذوَّب نحو نصفهِ من الماء . ولا بأس من وضع كم نقطة من الحامض الكبريتيك معهُ وابقهِ ٢٤ ساعة فيصير معدًّا للطلي فتطلي المواد منهُ على اسلوب طلي الذهب او الفضة كما مرّ . غير انهُ اذا اردنا ان نطلي جسمًا غير موصل ندهنهُ بغبار البلمباجين . وعلى ذلك يمكن ان تطلى بعض اواني خشبية باي معدنٍ شئنا

٢٧٤ الالكتروتيب . ومن قبيل الطلي اصطناع اوجه الطبع النحاسية الذي يقال لهُ الكتروتيب . وطريقة ذلك ان يوخذ قالب من شمع عن حروف نافرة محفورة في خشب او عن وجه مركب من حروف في المطبعة. ثم يدهن القالب بمسحوق البلمباجين ويوضع في مزيج من كبريتات النحاس متصلاً بالقطبة السالبة من البطارية الفلطائية ثم تربط سبيكة من نحاس بالقطبة الموجبة وتوضع ايضًا في المزيج. فبفعل المجرى الكهربائي ينحل مزيج كبريتات

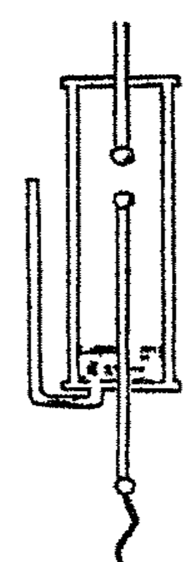
النحاس الى حامض كبريتيك ونحاس ويتجمع النحاس على القالب.
ثم يتركب الحامض الكبريتيك مع جزء من نحاس السبيكة فيه
وهكذا يدوم العمل مدة دوام المجرى الكهربائي على اسلوب الطلي
بالذهب والفضة كما ذكر ويبقى القالب في المزيج الى ان يكتسي
بغشاء متين من نحاس . وبعد تذويب الشمع عنهُ يصب فيهِ
من قفاهُ قليلاً من مزيج الرصاص والقصدير المذوَّب لاجل ثبات
الحروف ثم توضع بعض من القوالب المذكورة في مصب حديد
مقلوبةً ويصب الرصاص في المصب الى ان يطفح على القوالب
ويملها ويعلو عليها حتى يصير بسمك كافٍ . وبعد ان تبرد تفصل
القوالب عن بعضها بمنشار .ويجب ان يُجعل لكل قالب برواز
بعلو الحروف حتى يلقى على المصب ويُحفظ الحروف المرسومة على
القالب من دخول الرصاص اليها ولصقهِ عليها اذ يكون القالب
في المصب مقلوبًا

٢٧٥ واما المفاعيل الميكانيكية للكهربائية سواءٌ كانت
فلطائية او حاصلة من الفرك فاذا فرّغنا امتلاءً قويًّا على موصلات
غير جيدة تنتج مفاعيل ميكانيكية كالثقب والتمزيق والتكسير
اربًا اربًا .وهذه المفاعيل تستلزم تدافعًا شديدًا بين الدقائق المكهربة.
فان الهواء يتمزق بتفريغ كهربائي اذ تدفع الدقائق بعضها بعضًا

في خط المجرى ولذلك هذا السبب يصحب تفريغ جرة ليدنية تفرقع قوي

والة المعلم كنرسلي التي ترى في ( شكل ١٨٧ ) تبيّن تاثير هذا التمزّق السريع للهواء. فان القضيبين عند راس الالة واسفلها اذا اتحدا بغشاءي القنينة الليدنية المتاثلة يحصل تفريغ وتقفز الشرارة بين تفاحتي القضيبين داخلاً في الهواء المحصور وتسبب تمزيقًا في الهواء بينهما وانضغاطًا وراء التمزيق وذلك يسبب انضغاطًا سريعًا على الماء اذ يرفعهُ الى فوق في الانبوبة الصغيرة. وان أُطلِق امتلاء في كرتونة او اوراق مختلفة السمك فانهُ يثقبها جاعلاً لها حدودًا بارزة على كلا الجانبين . ويمكن ان يثقب الزجاج ثقبًا ضيقًا على هذا الاسلوب غير انهُ اذا كان الامتلاء اقوى مما يقتضي فالارجح حينئذٍ ان الزجاج يتكسر اربًا اربًا. وكذلك الخشب الصلب وقوالب السكر ومواد اخر قابلة الانكسار غير موصلة تتكسر اربًا اربًا بامتلاء بطارية. واذا ارسل الامتلاء في موصل فلا يظهر لهُ تاثير غالبًا لانهُ يتوزّع على سطح الجسم كلهِ في مرورهِ فيكون تدافعهُ قليلاً . وانما اذا جعل الموصل سلكًا دقيقًا كخيط الزيبق في انبوبة الثرمومتر مثلاً تنحصر القوة حينئذٍ في مساحة قليلة وتملأ دقائقهِ فتتباعد عن بعضها وتتكسر الانبوبة اربًا اربًا

شكل ١٨٧



٢٧٦ واما سرعة الكهربائية فهي عظيمة جدًّا حتى لا يشعر بوقت عند مرور تفريغ في حلقةٍ الاَّ اذا كانت على مسافة قاصية جدًّا. وقد جُعِل حلقة من شريط طولهُ نحو اربعة اميال فلم يشعر

بوقت التفريغ. ونحن نتوهم ان البرق الذي هو نور كهربائية الجلد كما سياتي يذهب من الغيوم إلى الارض ولكنهُ بالحقيقة يرى كل خط البرق في لحظة واحدة لاننا بامعان النظر قليلاً لانشعر بهِ صاعدًا كما نشعر بهِ نازلاً. فلا نقاس سرعة الكهربائية الاَّ بادق الالات. وقد اكتشف المعلم هو يتستوُن ان كهربائية الفرك تسري على شريط نحاسي قطرهُ جزءٌ من خمسة عشر جزءٍ من عقدة بمعدل ٢٨٨٠٠٠ ميل في الثانية فيكون اسرع كثيرًا من النور. واما سرعة الكهربائية الكلفانية المستعملة للتلغراف فمعدلها ١٦٠٠٠ ميل في الثانية

## الفصل السادس عشر

### في اطلاق لفظ السيال على الكهربائية والبحث عن مذهبي دوفاي وفرانكلين

٢٧٧ فيما مر كنا نسمي الكهربائية احيانًا بالسيال الكهربائي وهذه التسمية توهم انها مادة سيالة. وتوجد اسباب تحملنا على ان نتوهمها سيالة ذات زخم وتلك الاسباب هي القوة التي بها تحطم الكهربائية اصلب المواد والصوت الذي يصحب مرورها في الهواءٍ

وخط النور الذي يظهر اثر مجراها ومجرى الهواء الذي يصدر من موصل مروّس عندما تجري الكهربائية منهُ وجاذبيتها وتدافعها وتوزيعها بغير التساوي على سطح موصل وانحصارها على سطح الاجسام بضغط الجَلد وتجمعها في القنينة الليدنية وغير ذلك. وانما هذه الظروف تدل فقط على فعل قوة التدافع السريع المؤثر في دقائق المادة القريبة من خط التفريغ الكهربائي . ولما كانت الكهربائية غير قابلة الوزن لان الامتلاء الكهربائي لا يزيد ثقل الجسم شيئًا فلا دليل يؤكّد لنا او يرجّح كونها مادة

٢٧٨ قد ذكرنا في ابتداء الكلام على الكهربائية ما ذهب اليهِ دوفاي وما ذهب اليهِ فرانكلين ولا باس من مراجعتهما الان لاجل البحث عن الاختلاف بين الطائفتين من الفلاسفة اللتين اتبعتا مذهبيهما

اما فرانكلين فذهب الى انهُ يوجد سيال كهربائي واحد وان الجسم في حالتهِ الطبيعية فيهِ امتلاء معين من هذا السيال الذي يبطل تدافعهُ بالجاذبية الفاعلة بهِ من الجسم . وانهُ حينما يكون في الجسم اكثر من مقدارهِ الطبيعي من الكهربائية يقال انهُ قد تكهرب ايجابًا وحينما يكون فيهِ اقلُ من مقدارهِ الطبيعي يقال انهُ قد تكهرب سلبًا وان الاجسام المتكهربة سلبًا تتدافع كالمكهربة

ايجابًا فيكون مذهبهُ مبنيًا على الثلاثة اصول الآتية وهي

(١) الكهربائية تدفع الكهربائية

(٢) الكهربائية تجذب المادة

(٣) المادة عندما تكون غير مكهربة تدفع المادة

وبموجب هذه الثلاثة اصول يوضح فرانكلين ومن ذهب مذهبهُ كل افعال الكهربائية

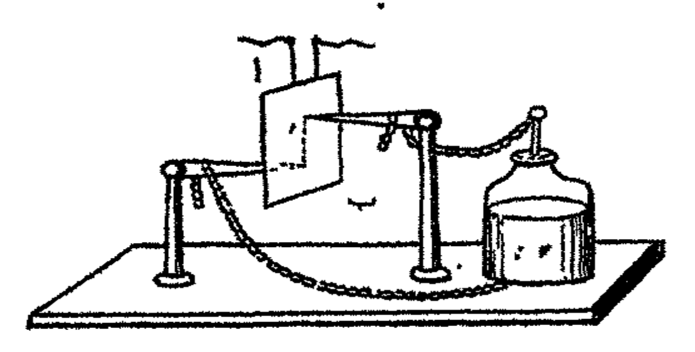
اما دوفاي فذهب الى انهُ يوجد سيالان كهربائيان يسميان لاجل تمييزهما السيال الزجاجي والراتينجي وسمي الاول بالزجاجي لكونهِ ينتج عن فرك الزجاج والثاني بالراتينجي لكونهِ ينتج عن فرك المواد الراتينجية كالشمع الاحمر. وان كلًّا من هذين السيالين يدفع نفسهُ ويجذب السيال الاخر. وانهما اذا اخترقا جسمًا بمقادير متساوية يبطِّل احدهما فعل الاخر ويقال ان الجسم حينئذٍ غير مكهرب

٢٧٩ وقد احتج اتباع دوفاي على اتباع فرانكلين لتاييد مذهبهم بقولهم ان اثر مرور مجرًى في ورق او كرتون من قنينة ليدنية من الجانب الايجابي الى الجانب السلبي ومن السلبي الى الايجابي دليل على وجود السيالين

لانهُ اذا لوِّنت الكرتونة ا ب بكبريتيد الزيبق المعروف باسم فرميليوم

ووُضعت بين سناني المطلق العام كما في (شكل ١٨٨) اللذان يبعد احدهما

شكل ١٨٨




عن الاخر نحو عقدة ومرّ امتلاء قنينة ليدنية فالكرتونة تثقب ويرى على جانبي الثقب كليهما حدان بارزان يستدل منهما على زخم مجريين من جهتي الايجاب والسلب المتقابلتين الّا ان حد الثقب الذي يفعل فيهِ المجرى السلبي اقل بروزا من الذي يفعل فيهِ الايجابي وذلك دليل على ان الهواء لهُ اشدّ مقاومة على المجرى السلبي مما على المجرى الايجابي

وردّ اتباع فرانكلين ان بروز حدّي الثقب على الجانبين لا يستلزم فعل مجريين وانما لكون الدقائق على جانبي الثقب قد مُلئَت بالكهربائية تدفع بعضها بعضًا من الجانبين فيحصل هذا الاثر

٢٨٠ ثم احتجّت هذه الطائفة انهُ اذا وُضع قضيبان من شمع احمر متوازيين على مائدة المطلق العام ووُضع بينهما كرة من لب السيسبان على منتصف البعد بين سناني المطلق وصار تفريغ لطيف من احد السنانين الى الاخر تجري الكرة من جهة السنان الايجابي الى السلبي. وانهُ اذا وُضع مصباح بين سناني المطلق العام

يهب دائمًا من الجانب الايجابي الى السلبي . فما ذكر وغيرهُ مما يشبههُ دليل على انهُ يوجد سيال واحد فقط وانهُ دائمًا يتحرك من الجانب الايجابي من القنينة الى الجانب السلبي

وردَّ هذا الاحتجاج اصحاب مذهب دوفاي بقولهم ان كل ذلك ناتج عن كون مقاومة الهواء للكهربائية الراتينجية اشد مما هي للزجاجية

٣٨١ ثم احتجوا انهُ يخرج مجرى كهربائي من راس تكهرب سلبًا كما من راس تكهرب ايجابًا . فاذا اتصل موصل مروس بالفارك المنفصل من آلة كهربائية تندفع كرة من لب السيسبان بمجرى الكهربائية الذي يخرج من راس الموصل

فاجاب اتباع فرانكلين ان ذلك ناتج عن كون المادة المسلوبة الكهربائية تدفع بعضها بعضًا

شكل ١٨٩



٣٨٢ ثم قال هؤُلاء ان هيئة الشرار الكهربائي دليل على حركة سيال واحد صادر من الموصل الايجابي الى السلبي. لان الشرارة من آلة كهربائية قوية التي تظهر متشعبة في كل

الجوانب تتجه من جانب الموصل الايجابي الى السلبي كما يرى في (شكل ١٨٩)

ورُدَّ احتجاجهم هذا ان ذلك ليس الاَّ نتيجة كون مقاومة الهواء للكهربائية الايجابية اقل منها للراتينجية كما قد تقرَّر

٢٨٣ وقال اتباع دوفاي اذا اخذت شرارة من آلة اعتيادية فاطراف الشرارة هي غالبًا المع من الوسط ومن ذلك دليل على ان الجزء الاوسط الضعيف النور هو مكان اجتماع الكهربائيتين حيث تبطل احداها فعل الاخرى

ورُدَّ عليهم ان السيال الكهربائي بداعي مقاومتهِ نفسهُ يجتاز من دقيقة الى اخرى بمجارٍ تتشعب من كل دقيقة فيترك بهذا التوزيع نورًا ضعيفًا في الجزء الاوسط من الشرارة فلا دليل هنا على وجود سيالين. ولهما مناقشات كثيرة غير هذه لا محل لذكرها هنا ولما كان لكل من الفيئتين احتجاج وللاخرى رد مقبول فلا سبيل لتعيين ايهما الاصح بل انما ذلك من الامور الخفية في الطبيعة. غير اننا من الالتفات الى هذه الحقيقة وهي ان الكهربائية الراتينجية تستقر كالزجاجية على سطح موصل وتمتد على الموصل بموجب ناموس الكهربائية الزجاجية نرجّح وجود سيال كهربائي راتينجي حقيقةً كوجود سيال زجاجي

# الفصل السابع عشر

## في كهربائية الجَلَد والوقاية منها

٣٨٤ ان كهربائية الجلد التي تنتج البرق والرعد والصواعق والكهربائية التي نجمعها بالالة ماهيتهما واحدة. وقد اثبت هذا الامر الفيلسوف فرانكلين الكهربائي وذلك بواسطة اطلاق طيارةٍ في الهواء ربط فيها عودين من ارز على هيئة صليب وربط فيها شريطة مروسة وعند اتيان نوء كان يطيّر الطيارة. ثم علّق مفتاحًا في طرف الخيط المصيص وربط طرف الخيط في عمود من خشب بواسطة تحرير من حرير. ثم اذ تبلّل الخيط المصيص من وقوع المطر عليهِ قرّب عقدة اصبعهِ الى المفتاح فنال مجرى من الشرار الساطع. ثم من تجرباتٍ كثيرة مختلفة ظهرت لهُ المشابهة التامة بين الصاعقة او البرق والكهربائية. وعند ذلك تاكّد كونهما من جنس واحد واما اوجه المشابهة التي ذكرها فهي

(١) هيئة البرق ذات التعاريج تطابق هيئة ممر الشرار الكهربائي القوي في فسحةٍ من الهواء

(٢) الصاعقة تقع غالبًا على الاشباح العليا كقمم الجبال ورؤوس

وصواري المراكب والاشجار العالية والابراج والمنائر والصوامع والمآذن وقبب الاجراس وهلمّ جرًّا . وهذا السيال الكهربائي اذا انتقل من مادة الى اخرى يختار دائمًا الرؤوس العليا كما مرّ

(٣) قد لوحظ ان الصاعقة تهجم غالبًا على المواد الجيدة لايصال الكهربائية كالمعادن والماء والاجسام الرطبة وانها تجتنب غير الموصلة كالكهربائية التي تُجمَع بالآلة

(٤) الصاعقة تضرم الاجسام القابلة الاشتعال وذلك من مفاعيل الكهربائية

(٥) المعادن تذوب بتفريغ قوي من الكهربائية وهذا الامر احد مفاعيل الصاعقة الاكثر وقوعًا

(٦) تلاحظ المشابهة بينهما في تكسير الاجسام القابلة للتكسير

(٧) قد عرف ان الصاعقة تضرب الناس بالعمى وقد وجد المعلم فرانكلين ان للتفريغ الكهربائي القوي نفس هذا العمل

(٨) الصاعقة تُبيد الحيوة الحيوانية وللهزة الكهربائية هذا الفعل نفسهُ لان المعلم فرانكلين امات بهزةٍ كهربائية قوية ديوكًا حبشية ثقل كل واحد منها رطلان

(٩) تاثير برق الصاعقة في الابرة المغناطيسية كتاثير الكهربائية كما سياتي. والحديد يصير مغناطيسًا بكلا هذين الشيئين . فالنتائج اذًا متشابهة تشابهًا كليًّا غير انها تختلف في القوة فاذا كانت حديدة بارودة مكهربة تعطي شرارة وتجعل فرقعة قوية عن بعد عقدتين فاذا يستنظر من غيمة مكهربة مساحتها ١٠٠٠٠ فدان مكعب

٢٨٥ ان تحويل البخار الى ماء والماء الى بخار واحتكاك مجاري من الهواء متضادة في سيرها بعضها على بعض هما السبب الارجح

لظهور الكهربائية في الجلد . ومذهب اشهرهم ان الاجسام عند تحويلها من حال السائلية الى حال البخارية وبالعكس تعطي علامات قاطعة لوجود الكهربائية بحالة الايجاب والسلب . لانهُ حينما يخرج بخار متكاثف من منفذ حنفية خلقين تنتج كهربائية بكثرة اذ تكون كهربائية البخار موجبة والخلقين سالبة وبعضهم يجعل لاحتكاك دقائق السيال على الخلقين مدخلاً في ذلك

٣٨٦ واما حالة كهربائية الجلد فقد اثبت كثير من المدققين الحقائق الآتية المشهورة التي تتعلق بذلك

(١) الغيوم الرعدية تمتلئ من الكهربائية اكثر من سائر الاجسام الهوائية . فجميع الغيوم المنفردة او المفترقة تتكهرب قليلاً او كثيرًا تارةً ايجابًا وطورًا سلبًا. ومتى غطت الغيومُ السماء اي متى كانت الغيوم رقعة واحدة مبسوطة فوقنا فالكهربائية اضعف كثيرًا مما تكون في الغيوم المتفرقة . ولكون الضباب ليس الاَّ غيومًا قرب سطح الارض يصدق عليهِ هذا الحكم نفسهُ وهوان الضباب الساري القليل الامتداد يتكهرب غالبًا بكثرة

(٢) كهربائية الجلد تكون اقوى متى عقب عدة ايام ممطرة متوالية طقسٌ حار او بالعكس

(٣) عندما يكون الطقس نقيًا غير مختلف تبقى الكهربائية غالبًا ايجابية ولكنهُ عندما يحدث نوءٌ تتغير دائمًا من ايجاب الى سلب وبالعكس

٣٨٧ ان سبب حدوث الرعد والصاعقة او البرق هوان السحابة تتكهرب بسرعة عند انتشائها وكهربائيتها المتكوّمة تفعل

على كهربائية سُحُب اخرى بموجب الحل الكهربائي اي اذا كانت موجبة تجذب السالبة من الاخرى وتدفع الموجبة واذا كانت سالبة فبالعكس فتجعل اجزاء الغيوم القريبة منها مكهربة بنوع مضاد لكهربائيتها فتتجاذبان ومتى اقتربتا حتى تصيرا على بعد فسحة الاتصال تهجم كل واحدة الى الاخرى فيرى الشرار الكهربائي اللامع كالبرق او الصاعقة ثم يُسمع تفرقع تمزُّق الهواء بصوت رعد. وذلك يحدث غالبًا في فصل حار كالربيع والخريف وفي الوقت الاحرّ من النهار. وتكثر الانواء الرعدية حيث الهواء الحار الرطب يُحْمَل من الاوقيانس الى بلاد جبلية وسبب حدوث هذه الانواء ليس هو الكهربائية بل ما ذكر فيما مرّ عند الكلام على الرياح والامطار في الهوائيات واما الحوادث الكهربائية فنتيجة لازمة لبعض ظروف تصحب انتشاء الانواء

٣٨٨ اما خط التفريغ فهو ذو تعاريج كالشرار الطويل من الموصل الاعظم كما مر. والى هذه ينسب عدم مساواة صوت الرعد لان هذه التعاريج تجعل الاجزاء المختلفة من خط النور الكهربائي على ابعاد مختلفة من الاذن فكلما قلَّ البعد اسرع الصوت وقوي اذ ياتي من الاجزاء التي على ابعاد متساوية في وقت واحد بعلو زائد. والصدى الناتجة عن السحب والتلال وغير ذلك هي

ايضًا علة انعكاس الرعد واستطالتهِ

٣٨٩ وقد يحدث احيانًا انهُ يحصل تاثير قوي عن بعد جسيم من المكان الذي تفرَّغت فيهِ الصاعقة بحيث لا يكون ممر نور كهربائي ظاهرًا من سحابةٍ الى الارض. وتعليل ذلك هو ان السحابة الكبيرة المكهربة ايجابًا بموجب الحل الكهربائي تحل كهربائية الارض المجاورة لها اذ تجذب السالبة الى سطحها وتدفع الموجبة الى بعدٍ. ثم اذا تفرغت كهربائية هذه السحابة الى سحابة اخرى او الى شيح شامخ على الارض قريب منها فالكهربائية المندفعة من سطح الارض ترجع حالاً وياخذ الحيوان المجاور هزةً ربما تلاشي حياتهُ . وهذا ما يقال لهُ رد الضربة

٣٩٠ الوقاية من الصواعق . انهُ لاجل الوقاية من اذى الصواعق والرعود الاحسن ان يكون الشخص قريبًا من موصل جيد مرتكز في الارض عالٍ في الهواء كقضيب الصاعقة او كشجرة عالية بحيث لا يلتصق كثيرًا فتصل اليهِ الصاعقة . واذا لم يكن للبناء قضيب فالاسلم ان يكون في وسط الاوضة من ان يكون قرب جدرانها وان يقعد او ينام من ان يقف وذلك مبنيٌّ على ان الكهربائية تميل الى رؤُوس الاشباح العالية المروسة . ولا وقاية من لبس الحرير او الانطراح على فراش ريش او الاتصال باي نوع غير موصل من المواد لان الصاعقة تتبع الموصلات وهي متصلة بغير الموصلات كما لو لم تكن متصلة . فلا حماية بغير الموصلات ما لم تُحِط الشخص الى بعدٍ وافر من كل جانب .

والاحسن عندما يُشعَر بنزول الصاعقة ان يرمي الشخص كل ما معهُ من المواد المعدنية اذا امكنتهُ الفرصة. واذا كان ملامسًا شجرة يجب البعد عنها والانطراح على الارض

٣٩١ واما قضيب الصاعقة فهو قضيب معدني مروَّس ينصب على جوانب البيوت يغرز في الارض ويعلى راسهُ الى فوق السطوح. ولكي تحصل من قضيب الصاعقة الوقاية التامة يقتضي ملاحظة القوانين الاتية

(١) يجب ان يكون حجم القضيب كافيًا . فاذا كان من حديد يجب ان يكون قطرهُ من نصف عقدة الى عقدة . وان كان من نحاس فقد يكتفى بثلث عقدة

(٢) يجب ان يكون متصلاً من اعلى الى اسفل. فقد يصطنع من اجزاء متصلة فيجب والحالة هذه ان يتصل بعضها ببعض حتى يتألف منها قضيب واحد من فوق الى تحت لانهُ اذا وصل بينها بسلسلة او بشيء اخر فالسلسلة هي اكثر مقاومة لمجرى الكهربائية

(٣) يلزم ان يكون اعلاهُ مروَّسًا . وذلك لكي تميل اليهِ الكهربائية لانهُ من شانها كما مرَّ ان تميل الى رؤوس الاشباح العليا . ولئلا يثخن سنامهُ بتكوُّن الصدى عليهِ يجب ان يغشى بالذهب او يعمل من فضة صلبة او بلاتين

(٤) يجب ان ينتهي القضيب من اسفل في التراب المبلول لان التراب الجاف هو موصل ضعيف للكهربائية . فان كانت نهايتهُ في تراب جافٍ فالكهربائية مدة حلول الصاعقة لا بد ان تجمع على هذا القضيب

الموصل ثم تجتاز منهُ الى موصلات اخر على جوانبهِ وتنتج ذات الاذى الذي كان يحصل لو لم يكن قضيب صاعقة . فيقتضي ان يدخل في الارض خمس اقدام على الاقل وفي الرمل الجاف ليس اقل من عشرة اقدام والاحسن في محلات كهذه ان يتصل اسفل القضيب ببير ماء او ينبوع

(٥) يجب ان يكون اعلى كثيرًا من اعلى اجزاء البناء . لانهُ قد عرف من الاختبار انَّ القضيب يقي دائرة نصف قطرها مضاعف علوهِ فوق سطح البناء . غير ان هذا القانون لا يسلم دائمًا من الخطاء فيقتضي ان يكون للبناء الواحد اكثر من قضيب واحد ما لم يكن صغيرًا جدًّا . والدواخين يلزمها وقاية خصوصية اولاً لارتفاعها وثانيًا لكونها موصلاً جيدًا والدخان الخارج منها كذلك

# الفصل الثامن عشر

## في الكهربائية الحيوانية

٣٩٢ انهُ غب التفتيش المدقق اثبت الطبيعيون وجود مجارٍ كهربائية في تركيب الحيوان تجري من السطح الخارج او البشرة الى السطح الداخل المخاطي. والمعلم ألدَني الذي كان في ايام كلفني وفولطا وقد تعصب لهما في هذا الراي برهن ذلك بانهُ اخذ راس ثور قد ذُبح حديثًا واتى بفخذ ضفدع وجعل عصب الفخذ يمس لسان الثور اذ كان ماسكًا الفخذ بيدهِ مبلَّلَةً بماء مالح وباليد

الاخرى المبللة ايضاً بالماء المالح اذن الثور لكي تتم الدائرة الكهربائية.
فتقلص حينئذٍ الفخذ فكان من ذلك دليل على وجود مجرى
كهربائي في الحيوان. وهكذا يتبين الامر بوضع مجرّبٍ عصب
فخذ الضفدع الوركي على لسانهِ وامساك مخالبهِ بيدهِ مبللةً بماء
مالح فانهُ يُعطي بتهيجهِ حينئذٍ دلايل وجود الكهربائية. والكلفنومتر
الذي سياتي الكلام عليهِ يبين لنا وجود الكهربائية عند اتمام الدائرة
المذكورة

٣٩٣ ثم انهُ من ابهج ظواهر الكهربائية تلك التي تظهر من
الكهربائية الطبيعية في انواع من السمك. وانواع الاسماك
المشهورة لهذه الخاصية هي ثلاثة اولها واشهرها ما يقال لهُ الرعاد
واسمهُ باللاتينية توربيدو

اما خاصية هذا النوع من السمك فكانت معروفة عند الطبيعيين
الاقدمين لان ارسطوطاليس وبليني يصفانها بالتدقيق. اما الاول فقال
ان هذا السمك يسبب خدرًا للاسماك التي يُريدان يصطادها فتاخذ تلك
الاسماك الفترة وحينئذٍ يمسكها بفمهِ ويغتذي بها. واما الثاني فقال ان هذه
السمكة اذا مُسَّت بقضيب او بحربة ولو عن بعد تشنج اقوى العضلات. وهيئة
هذه السمكة مستعرضة كسمك ابي مشط طولها نحو عشرين قيراطًا ولكهربائيتها
خواص الكهربائية تمامًا فانها تسري على المعادن والماء وباقي الموصلات ولا
تسري على الزجاج او مواد اخر غير موصلة

٣٩٤ النوع الثاني الأنكِليس الاميركاني واسمهُ باللاتينية

المعروف عند الاوربيين بالجمنوتوس. وهذا النوع يوجد في انهر اميركا الجنوبية. طولهُ الاعتيادي من ثلاثة الى اربعة اقدام وقيل انهُ يوجد احيانًا بطول عشرين قدمًا. ويعطي هزَّةً قتالة سريعة. وهو يصطاد الاسماك التي يقرب اليها على الاسلوب المذكور للرعاد لكي يغتذي بها

ويقال ان الطريقة المستغربة التي يصطادون الجمنوتوس بها في جنوبي اميركا هي انهم يُنزِّلون الى بحيرة يكثر فيها هذا الانكليس خيلاً برية تخوض فيها مدةً. فالسمك بعد ذلك يعيي او تفرغ كهربائيتهُ بجهادهِ مع الخيل فيُمسَك. وانما التفريغ الكهربائي الناتج عنهُ قوي بهذا المقدار حتى ان بعض الخيل تغرق قبل ان تشفي من هزات الانكليس المشنجة

٣٩٥ النوع الثالث ما يقال لهُ الفترة واسمهُ باللاتينية سَلرُس الكتريكوس وهذا النوع من السمك يوجد في بعض انهار افريقيا. وقوتها الكهربائية اقل مما للرعَّاد او الانكليس الاميركاني ولكنها كافية لاعطاء هزة ممتازة للبنية الانسانية

وجميعها ذات اعضاء كهربائية تشبه رصيف فولطه في تركيبها. والمجاري الكهربائية التي تحصل منها توثّر بالكلفنومتر اي مقياس الكهربائية الكلفانية وقد يظهر منها الشرار الكهربائي. وهذه الانواع من الاسماك تستعمل قوتها إراديًا لقصد تضعيف فريستها عندما تكون راكضة في اثرها ولوقاية نفسها ممن يسطو عليها

وقد يظهر شرار الكربائية على شعر الانسان اذا حُكَّ بجرمة من حرير او مُشِّط بمشط من عاج في ليل مظلم نقي. ويظهر في وَبَر القطاط ايضًا اذا حُكَّ

بحرمة من حرير في ليلٍ داجٍ الجلد فيه جاف

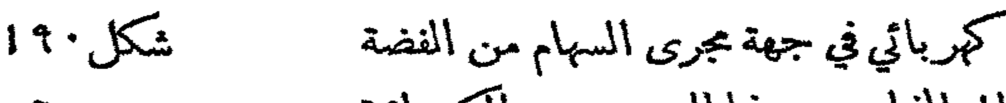
# الفصل التاسع عشر

## في كهربائية الحرارة

٢٩٦ انهُ سنة ١٨٢٢ اكتشف العلامة سيبك من برلين انهُ اذا اتصل معدنان مختلفان معًا على الاسلوب الآتي فيجري مجرى حولهما ويمكن ان ينتقل ذلك المجرى بواسطة موصل جيد. والكهربائية الناتجة من هذه الكيفية تسمَّى كهربائية الحرارة

مثالهُ اذا اتحد قطعتا معدن احداهما البيضاء من فضة جرمانيا والاخرى السوداء من نحاس كهذا الشكل وأُحميا عند مكان الاقتران يجري مجرى كهربائي في جهة مجرى السهام من الفضة الى النحاس. وهذا النوع من الكهربائية ينتج عن اختلاف درجة الحرارة فتجري من الاجزاء الباردة من المعدن الى الحارة.

شكل ١٩٠



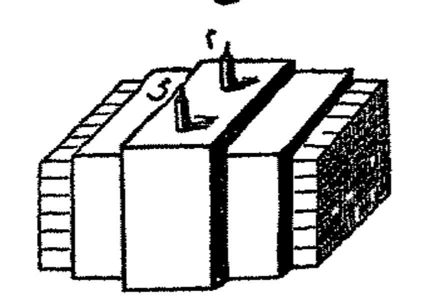
وخصائص كهربائية الحرارة هي كخصائص الكهربائية العمومية

٢٩٧ والمعادن الافضل لحصول هذه الكهربائية هي فضة جرمانيا وبزموث ونحاس اصفر وحديد وانتيمون. فيمكن ان يصنع بطارية من رصيف معادن احدها فوق الاخر من غير جنسهِ وآخر فوق الثاني وهلمَّ جرًّا على الاسلوب الذي تراهُ في الشكل وذلك يشابه رصيف فولطه ولهُ قطبتان

كذلك. لتكن ا ب قطعة من بزموث وس ر قطعة من انتيمون متحدة بها وي ف قطعة من بزموث وك د من انتيمون وهلمَّ جرًّا فاذا وضع حديد حامٍ على الاطراف ا س ي ك اذ تكون الاطراف ب ر ف د مبرَّدة بثلج يصدر مجرًى كثافتهُ تساوي مجموع كثافات اجزاء الرصيف وبواسطة شريطة تخرج من قطعة البزموث الاولى ا ب واخرى تخرج من القطعة الاخيرة التي هي من انتيمون يمكن التصرُّف بالمجرى كيفما يراد

شكل ١٩١

٢٩٨ واذا اقتضى تركيب رصيف من ثلاثين جزءًا او اكثر تجعل على الترتيب الانسب كما يرى (شكل ١٩٢) ويقال لهُ رصيف كهربائية الحرارة. والقطعة الاولى من بزموث تتصل بالشريط م والاخيرة من انتيمون تتصل بالشريط س. وم وس هما قطبتا الرصيف الموجبة والسالبة


شكل ١٩٢

فاذا عرَّضت الاطراف المتصلة على الجانب الواحد لحرارة ذات درجة عالية ولو قليلاً يعرف من الكلفنومتر انهُ يوجد مجرًى كهربائي. وقد تصنع آلة كهذه تتاثر من حرارة خفيفة كحرارة اليد على بعد ثلاثين قدمًا فتنتج كهربائية كافية لان تؤثر في الكلفنومتر. واذا وضع الطرف الواحد من الرصيف على قرص ثلج وقُرِّب حديدٌ حامٍ الى الطرف الاخر ينتج مجرًى كهربائي تظهر فيهِ ظواهر الكهربائية

# الباب الثامن

## في المغناطيسية وفيهِ مقدمة وثلاثة فصول

## المقدمة

### في تعريف المغناطيسية وتاريخها

٣٩٩ المغناطيسية فن يبحث فيهِ عن القوة الخصوصية في المغناطيس لجذب الحديد دون سائر المعادن والاجسام . وقد تطلق هذه اللفظة على السيال الذي هو السبب الغير المدرك لهذه القوة . اما المغناطيس فهو قطعة من اوكسيد الحديد فيها خاصية جذب الحديد والاتجاه الى نحو قطبتي الارض اذا تعلَّقت لذاتها . ويقال لهُ حجر المغناطيس ايضًا . وهو نوعان طبيعي وصناعي. اما الطبيعي فيوجد في اماكن كثيرة على الارض واحيانًا توجد في قعر معادن الحديد قطعٌ منهُ مختلفة المقادير طول اقطارها بعض عقد وقد توجد قطعٌ منهُ عظيمة المقدار . وقد جلب الانكليز حجر مغناطيس من موسكو الى لندن وزنهُ ١٣٥ ليبرة يحمل اكثر

من ٣٠٠ ليبرة من الحديد . والمشهور من هيئات المغناطيس الطبيعي والصناعي نوعان وهما المغناطيس المستقيم والمغناطيس نضوة الفرس لكون هيئتهُ تشابه هيئتها وبعض هذا النوع هيئتهُ تشابه اللامين المعلقتين في الكتابة

٤٠٠ ان جاذبية المغناطيس كانت معروفة من قديم الزمان لان هوميروس وفيثاغورس وارسطوطاليس يذكرونها . ولكن خاصية اتجاههِ الى نحو القطبتين لم تكن معروفة في اوربا حتى الجيل الثاني عشر. وقد قرَّر بعض المورخين موكدًا ان معرفة هذه الخاصية كانت عند الصينيين قبلما عُرِفت في اوربا باجيالٍ كثيرة

# الفصل الاول

## في المغناطيسية مطلقًا

٤٠١ اذا تدحرج مغناطيس في برادة الحديد يجذبها الى ذاتهِ . وهذه الفاعلية تظهر بالاكثر عند طرفيهِ المتقابلين حيث يتكوَّم مقدار من البرادة أعظم جدًّا مما في اجزاءٍ أُخر من الجسم . والطرفان المتقابلان في مغناطيس حيث يظهر ان القوة الجاذبة

تستقر يسميان قطبتيهِ فالتي تتجَّه الى نحو الشمال تسمى القطبة الشمالية والاخرى الجنوبية والخط الموصل بين القطبتين يسمى المحور

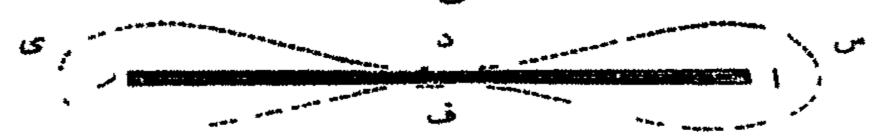
وذلك يظهر من هذا الشكل. ومن ذلك ينتج ان القوة الجاذبة المختصة

شكل ١٩٣



بالمغناطيس سواءٌ كان طبيعيًّا ام صناعيًّا لا تكون متساوية في كل جزء من سطحهِ بل يدل عليها بخط منحنٍ يحيط بالبرادة الملتصقة بالمغناطيس كما اشرنا فياخذ هيئتها كما في (شكل ١٩٤) . ليكن ا ب قطعة مغناطيس. فبحسب

شكل ١٩٤




القوة تكون في كل مكان من القطعة بنسبة بعد الخط المنحني س د ي ف عن ذلك المكان. وذلك لان مقدار القوة يكون بحسب البعد الذي تجذب منهُ القوة . وذلك ما يعبر عنهُ بكثافة القوة . فالقوة المغناطيسية عند الطرفين اكثف مما هي في اي جزءٍ كان من المغناطيس وكلما اقتربت منها الى خط الوسط د ف قلت القوة حتى تتلاشى في ذلك الخط ويقال لخط الوسط الخط الخنثى لانهُ لا قوة مغناطيسية هناك. وذلك يظهر ايضًا من انهُ اذا قرَّبنا الخط الخنثى من قطعة مغناطيس الى كرة صغيرة من حديد معلقة بخيط فلا يظهر فل الجذب. ولكن قوالجاذبية تراها تزداد كلما ابتعدت عن الخط الخنثى الى كلا جهتي الطرفين . ثم انهُ كما ان للمغناطيس قوة لجذب الحديد للحديد

ايضاً قوة لجذبهِ . لانهُ اذا علّقنا قطعة مغناطيس بخيط ثم قربنا منها قطعة حديد تجذُب اليها كذلك قطعة المغناطيس

فاذا قُرِّبت قطعة مغناطيس الى قطعة حديد موضوعة حتى تتحرك بسهولة فالحديد يُجذب اليها . او ان كان المغناطيس يتحرك بسهولة يجذب الى الحديد واذا تماسَّا يلتصقان بقوة شديدة . وكلا القطبتين يجذبان الحديد على حد سوى ويجذبان منهُ . فاذا وضع مغناطيس على برادة الحديد تلتصق البرادة حول طرفيهِ بكثرة وتقل كمية الملتصقة كلما اقتربت الى الخط الخنثى كما مر ولا يعيق قوة الجذب حاجز كورق او غيره . ولمعدني النكل والكوبلت خاصية جذب المغناطيس وجذبهما منهُ كالحديد غير انهُ اذ كان هذان المعدنان نادري الوجود لا يستعملان في تجربات المغناطيسية

٤٠٢ اذا قُرِّبت قطع مغناطيس الى بعضها فالاقطاب المتشابهة تدفع بعضها بعضاً والمتخالفة تجذب بعضها بعضاً

فالقطبة الشمالية من مغناطيس تدفع الشمالية من آخر وتجذب الجنوبية منهُ والجنوبية من الاول تدفع الجنوبية من الثاني وتجذب الشمالية منهُ فترى في هذا الشكل عن اليسار ان القطبة الشمالية من المغناطيس تدفع الشماليتين من ابرتين مغناطيسيتين معلقتين ليتحركا بسهولة والقطبة الجنوبية عن اليمين تجذبهما

شكل ١٩٥

٤٠٣ وقد عللوا عن جاذبية المغناطيس للحديد وعن تدافع القطب المتشابهة من مغانيط وتجاذب المتخالفة بما ياتي من القول . وهو ان كل الاجسام القابلة للمغناطيسية كالحديد والفولاذ ممتلئان

بسيّالين خفيفين يسميان بالسيال الجنوبي والسيال الشمالي
وبعضهم يسمي الشمالي ايجابياً والجنوبي سلبيا . وإن دقائق كلٍّ من
هذين السيالين تدفع بعضهـا بعضاً وتجذب دقائق السيال
الاخر . وإن هذين السيالين منفصلين او منحلين في المغناطيس
ومتحدين في الحديد فما داما متحدين في الحديد يمحق احدهما قوة
الاخر فلا تظهر جاذبية ولا تدافع اذ كان كلما تجذبهُ دقيقة من
سيال واحد تدفعهُ الدقيقة من السيال الاخر المتحدة معها . وإذا
قرِّب حديد الى مغناطيس يحل احد سيّالَي المغناطيس المتجه
الى الحديد سيالَي الحديد الممتزجين اذ يجذب المخالف لهُ ويدفع
المشابه فيحصل تجاذب بين المغناطيس والحديد وذلك ما يقال
لهُ الحل المغناطيسي .ويقال حينئذٍ ان الجسم قد تمغنط . ومن
التمغنط ما هو وقتي ومنهُ ما هو دائم وسياتي الكلام على كليهما .
وذلك الطرف الذي يتجه اليهِ السيال الشمالي يسمى القطبة
الشمالية والاخر القطبة الجنوبية . وإذا قربت قطبتا مغناطيسين
متشابهتان احداهما الى الاخرى تتدافعـان لكون السيالين
متشابهين . وإذا قربت قطبتان مختلفتان احداهما الى الاخرى
تجاذبان لكون السيالين مختلفين كما يحدث بين جسمين مكهربين

٤٠٤ فالحل المغناطيسي هو كالحل الكهربائي اي كما ان الجسم

المكهرب يحل كهربائية جسم اخر وضع قريبًا منهُ ويجذبهُ كذلك المغناطيس يحل المغناطيسية في قطعة حديد قربت الى احدى قطبتيهِ ويجذبها . وطرف من قطعة حديد اقرب الى قطبةٍ ما للثانية يتمغنط بالنوع المخالف لنوع القريب والابعد يتمغنط بنفس ذلك النوع . فيصير لقطعة الحديد قطبتان وخط خنثى اذ تكون قطبتها الملتصقة بقطبة المغناطيس مختلفة عنها . ويجوز ان يوضع الجسمان على استقامة واحدة او على اي زاوية كانت او متوازيين والحالة الاخيرة هي الاقوى حلًّا . لانهُ في هذه الحال كل قطبة تقرب من قطبة الحديد تدفع نوع المغناطيسية المشابه وتجذب المخالف بطريق الحل المغناطيسي فيصير تمغنط الحديد على هذا الاسلوب ضعف تمغنطهِ بقطبة واحدة على الاقل . وكما ان قطعة واحدة تتمغنط بتقريبها من مغناطيس كذلك قطعة اخرى قُرِّبت اليها تتمغنط منها والثالثة من الثانية وهلمَّ جرًّا . غير ان هذا التمغنط ليس هو الَّا وقتيًّا لانهُ اذا أُزيلت قطع الحديد عن المغناطيس يرجع الى ما كان عليهِ من امتزاج سيالي المغناطيسية فيبطل فعلهُ وسياتي الكلام على طرق التمغنط الدائم

٤٠٥ اذا قُدِّمت القطبة الشمالية من مغناطيس الى وسط قطعة حديد يحدث حلان ممتازان . لان كل نصف من القطعة

يصير مغناطيساً والقطبتان الجنوبيتان في الوسط والشماليتان عند الطرفين . واذا قدِمت الجنوبية الى وسط القطعة تكون القطبتان الشماليتان لنصفيها عند الوسط والجنوبيتان عند الطرفين . ثم اذا قرِّبت قطبة من مغناطيس الى مركز قطعة حديد لها هيئة النجم هكذا * اولها هية دائرة بسيطة فنهاية كل نصف قطر لها نفس نوع المغناطيسية الذي للقطبة المقرَّبة للحديد وللمركز النوع المخالف . ثم اذا مسَّ قطبتا مغناطيسين متشابهتان طرفي قطعة من حديد يُصنَع مغناطيسان كما اذا قرِّبت قطبة للوسط. وذلك بخلاف ما اذا مسَّ قطبتان مختلفتان طرفي القطعة كل منهما مسَّ طرفاً فان تلك القطعة تصير حينئذٍ مغناطيساً واحدًا . غير ان قوتهُ تكون مضاعف قوة مغناطيس نتج من الحل بقطبة واحدة . واذا قدِّم قطبتا مغناطيس مختلفتان الى طرف واحد من قطعة حديد يكون حينئذٍ حلاَّن مختلفان احدهما يمحق قوة الآخر وقطعة الحديد لا تتمغنط . فلا يظهر الجذب

شكل ١٩٧



وعلى ذلك نقول اذا اخذت قطعة من حديد لين لها شعبتان مثل س وعلقنا طرف احدى شعبتيها بالقطبة

الشمالية من مغناطيس مثل ا فطرفها الاسفل يصير قطبة شمالية ويجذب قطعة اخرى من حديد كالمفتاح د . ولكن ان قدِم الى طرف الشعبة الاخرى للقطبة الجنوبية من مغناطيس ثانٍ ب فالمفتاح يسقط حالاً . وقد تقدم الكلام على سبب ذلك . وكل ذلك يسمى بالحل المضاعف

٤٠٦ اذا تمغنط جسم فلا ينفصل سيالا المغناطيسية فيهِ احدهما عن الاخر كليًّا بحيث ينفرد احد السيالين كلهُ الى نصف واحد من الجسم والاخر كلهُ الى النصف الاخر بل يبقيان ممتزجين. غير ان كمية كلٍ من السيالين على نصفٍ واحد يكون حينئذٍ اكثر منها على الاخر. ودليلهُ انهُ اذا قطعنا قطعة مغناطيس الى نصفين نرى حالاً ان كلاًّ منهما صار مغناطيساً بنفسهِ فلو وُجد كل من السيالَين في نصف من الجسم الممغنط دون الاخر لما صار كل من النصفين مغناطيساً تامًّا لهُ قطبتان مختلفتان بعد انفصالهما بالقطع بل كان كل نصف يحتوي سيالاً واحدًا . ويعلَّل عن ذلك ان السيالين كانا في الحديد غير الممغنط ممتزجين علَى التساوي في كل نقطةٍ فاذا انفصلا حتى يصير الواحد بجانب الاخر يكون قطعهما كمساحتين متساويتين كما يرى في الشكل

شكل ١٩٨

١ ح ش

٢ ح ش

الاول من (شكل ١٩٨) حيث ش تدل على السيال الشمالي و ج

على السيال الجنوبي . ولكن بعد تمغنط الحديد يصير السيالان
متحدين في كل نقطةٍ بكميات مختلفة وإذا انفصلا يكونان كمساحتي
مثلثين على الهيئة التي ترى في الشكل الثاني المساحة الاوسع من
كل منهما تلي الاضيق من الاخر. فيكون قد وجد كل منهما في
كل جزء من الجسم غير انهما اتّحدا بكميات مختلفة في كل نقطة
الاّ عند الوسط . ومتى قطع الجسم عند الوسط فالنصفان
يتقاسمان السيالين بالتساوي بموجب الحل المغناطيسي اذ يكون
احد السيالين زائدًا عن الاخر في نصف والثاني زائدًا عن الاول
في النصف الاخر . وهذا القول يصدق على كل مغناطيس سواءٌ
كان طبيعًا ام صناعيًا دائمًا ام وقتيًا. وكما انهُ عند البعد الاوسط
بين الطرفين تتساوى المساحة في كلا المثلثين كما لا يخفى من
الهندسة كذلك كميتا السيالين في الوسط يتساويان فيمحق
احدهما قوة الاخر هناك عند الخط الخنثى . ومن هذا يظهر ايضًا
سبب كون القوة تتناقص كلما قربنا الى الخط الخنثى كما تقدم. لانهُ
كلما قربنا الى الوسط تقرب مساواة سيّالي المغناطيسية كمساواة
المساحة في المثلثين . ثم لا يقتضي الى نتوهم ان القوة المغناطيسية
يتوزع بعض منها على الحديد حينما يجذبهُ المغناطيس . بل الحديد
اذ يصير ذاتهُ مغناطيسًا عند ما يمس المغناطيس يقتضي ان تصير

لهُ قوة الحل المغناطيسي ايضًا فيفعل على المغناطيس الاصلي ويزيد حل مغناطيسيته فيقوى فعلهُ . وذلك يحدث بالفعل لان المغناطيس تزيد قوتهُ بابقاء قطعة حديد متصلة بقطبتيهِ

٤٠٧ ان قوة المغناطيس تتناقص بالحرارة . فاذا أُحمي مغناطيس سواءٌ كان طبيعيًا ام صناعيًا تنطرد كل قوتهِ المغناطيسية . ثم اذا تبرد لا ترجع مغناطيسيتهُ اليهِ ولكنهُ يتمغنط بالصناعة كقطعة من حديد غير ممغنطة اذا اريد ذلك . وكذلك تتناقص قوة المغناطيس بسوء المعاملة كسقوطهِ على الارض وتطريقهِ واحتكاكهِ والسحن بهِ ونتق ما يحملهُ

٤٠٨ وقد تزاد قوة المغناطيس باضافة قليل الى ما يحملهُ يومًا بعد يوم . فاذا فرضنا ان مغناطيسًا يحمل ثقلًا مقدارهُ اربع ليبرات فقد تزيد قوتهُ باضافة ثقل صغير الى الثقل المحمول حتى يصير يحمل ست او ثماني ليبرات . ولكن ان اضفنا الى ما يحملهُ جسمًا ثقيلًا حتى يسقط فقوة المغناطيس عوض ان تزداد تتناقص جدًّا حتى لا يعود يحمل اكثر من اربع ليبرات اذا حاولت ان تزيد قوتهُ بموجب الطريقة المذكورة . وبتكرار نتق الحديد عن المغناطيس تتناقص قوتهُ ايضًا بالتتابع . فاذا اريد اذًا ازالة الحديد عن المغناطيس يقتضي جرهُ باحتراس الى نحو الخط الخنثى

٤٠٩ اذا قُرّبت ابرة مغناطيسية تتحرك بسهولة الى مغناطيس اخر كما في (شكل ١٩٩) تتجه الى جهة ما وتختلف اتجاهها باختلاف موقع مركزها

شكل ١٩٩

مثاله ان كان مركزها ب في خط محور المغناطيس شَ جَ تبقى الابرة تخطر حتى تستقر على خط هو على استقامة واحدة مع خط المحور وقطبتها تحاذي قطبة المغناطيس المخالفة لها . وذلك لان شَ تجذب ج الى النقطة القربى وتدفع ش الى البعد الاقصى والقطبة جَ من شانها ان تدفع ج وتجذب ش ولكن لكونها ابعد عن شَ قوتها اقل لان القوة المغناطيسية كالكهربائية وكالجاذبية العمومية تتغير كمربع البعد بالقلب فتبقى الابرة تتذبذب الى ان قوة شَ تلاشي جَ وتثبت ج عندها . ثم اذا وضعت الابرة بجانب المغناطيس بحيث يكون ب عند م على منتصف البعد بين جَ وشَ تدور حينئذٍ حتى تصير متوازية للمغناطيس وجَ تحاذي ش وصَ تحاذي ج . لانهُ على هذا الوضع اذ يكون البعد بين كل قطبتين مختلفتين واحدًا يتجاذبان بقوة متساوية وإذا وضع مركز الابرة في اي مكان اخر تتخذ وضعاً منحرفًا على المغناطيس كثيرًا او قليلاً ويمكن ان تجعل مائلةً عليهِ على اي زاوية تراد . واوضاع

شكل ٢٠٠



الابرة هذه جميعها تبان حالاً من النظر الى هيئة انتشار البرادة اذ بوضع

المغناطيس تحت ورقة والبرادة فوقها. فكل ذرة من البرادة تصير مغناطيسًا بموجب الحل ويكون وضعها كوضع ابرة صغيرة مركزها الذرة. ففي (شكل ٣٠٠) البرادة عند الطرفين هي في خط المحور والتي في منتصف البعد من قطبة الى قطبة هي متوازية لقطعة المغناطيس وسائر الذرات بين الاماكن المذكورة مائلة على زوايا مختلفة جاعلة منحنيًا يسمى بالمنحنى المغاطيسي

٤١٠ ان بين الكهربائية والمغناطيس مشابهةً من اوجه واختلافًا من اوجه

فيتشابهان في الخصائص الآتية (١) ان كلاًّ منهما مركب من نوعين الكهربائية الزجاجية والراتينجية والمغناطيسية الشمالية والجنوبية (٢) ان في كلا الحالين السيالين اللذين من نوع واحد يتدافعان واللذان من نوعين مختلفين يتجاذبان (٣) قانون الحل في كليهما واحد (٤) القوة في كل منهما تختلف بالقلب كمربع البعد (٥) القوة في الحالين تستقر على سطوح الاجسام ولا تظهر داخلها

اما اوجه اختلافها فهي (١) ان الكهربائية قابلة ان تهيج في كل الاجسام وان تتوزع على الجميع . واما المغناطيس فيستقر في الحديد فقط وبالنادر في بعض معادن اخر. فلا يمكن ان يهيج في سوى الاجسام الحديدية الاّ نادرًا (٢) كون الكهربائية تنتقل من جسم الى آخر. واما المغناطيس فغير قابل لذلك . فان المغناطيس تظهر خواصهُ بالحل فقط الامر الذي لا يجعلهُ يفقد شيئًا من سيالهِ (٣) انهُ اذا تكهرب جسم ذو هيئة مستطيلة وقسم عند منتصفهِ فلا يزال كلا القسمين مكهربين بنوع واحد فقط من الكهربائية الذي كان لكل منها قبل الانقسام . وانما اذا تمغنطت

قطعة او ابرة من فولاذ بالحل وتجزأت الى اجزاء عديدة فكل جزء مغناطيس تام بذاته وله قطبتان (٤) ان خصائص اتجاه المغناطيس شمال جنوب ونتائجه المختلفة وهي الميل والاختلاف السنوي واليومي والهبوط واختلاف الكثافة باختلاف الاماكن على سطح الارض كما سياتي جميعها مختصة بالمغناطيس ولا دخل لها بالكهربائية

## الفصل الثاني

### في المغناطيسية بالنظر الى الارض

٤١١ مَيل الابرة . اذا توازنت ابرة على موازاة الافق بحيث تتحرك بسهولة لا تشير غالبًا الى الشمال والجنوب تمامًا . وزاوية انحرافها من خط الهجر يعبَّر عنها بميل الابرة ويقال لها احيانًا اختلافها . ويقال للدائرة السمتية اي الواقعة فوق سمت الراس التي تمر في الابرة في مكان مفروض الهجر المغناطيسي لذلك المكان . ويقال في الميل شرقي او غربي بحسب انحراف القطبة الشمالية للابرة عن الهجر الحقيقي . والميل عند اماكن مختلفة يكون غالبًا مختلفًا . ويوجد اماكن حيث الميل ١٠° و ٣٠° و ٣٠ الى ٩٠°

غربًا وكذلك اماكن اخر حيث الميل ١٠° و ٢٠° و ٣٠° الى ٩٠° شرقًا

ولكن اذا تتبَّعنا النقط التي فيها الميل واحد ورسمنا خطًّا يمرُّ فيها جميعها فذلك الخط يسمى خط الميل المتساوي وجميع الخطوط المرسومة هكذا يقال لها خطوط الميل المتساوي . واما الخط المار في جميع الاماكن التي فيها تتجه الابرة الى الشمال تمامًا يسمى خط اللاميل . وهذا الخط يحيط الكرة ولا ينحرف كثيرًا في ممرهِ عن دائرة عظيمة على الارض . وخطوط الميل المتساوي مع خط اللاميل تشابه خطوط الطول الجغرافيه

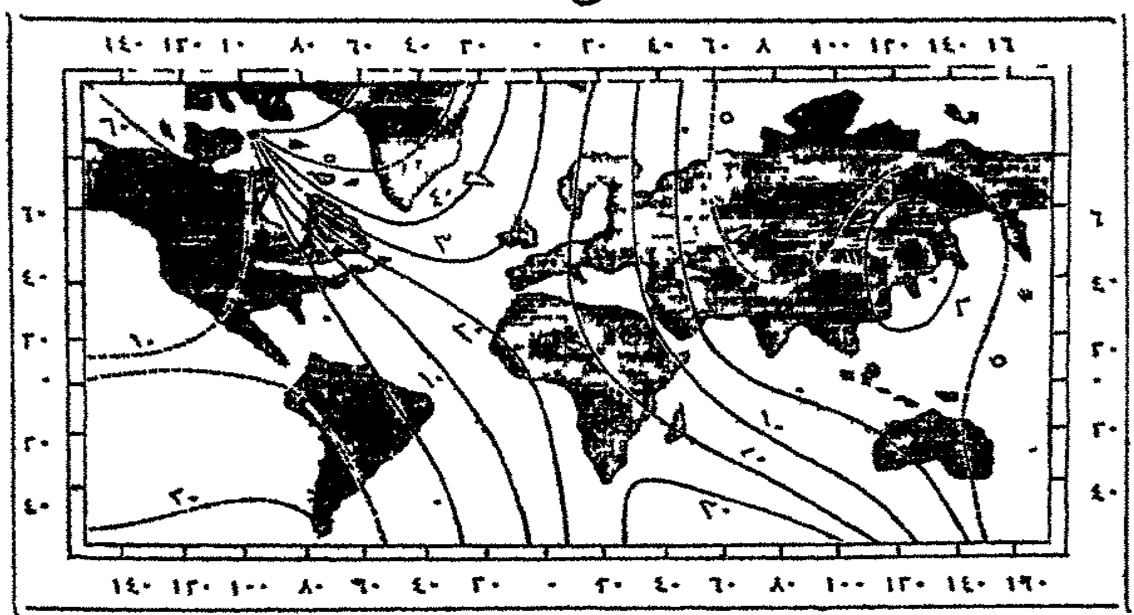
وخط اللاميل يبتدي من شمالي خليج هدصن في عرض ٥ ´ ٧٠° ش . وطول ٤٥ ´ ٩٦° غ . ثم يجري بعض درجات الى الجنوب الشرقي في خليج هدصن وبحيرة ابري وداخلاً الولايات المتحدة قرب الحد الشرقي من ولاية اوهيو يجتاز في وسط ولاية فرجينيا ويدخل في الاوقيانس الاتلنتيكي قرب نيوبرن في شمالي كرُلينا . ومن ثم يعوج قليلاً الى نحو الشرق جاريًا قليلاً الى شرقي جزائر الهند الغربي قاطعًا جزءًا من الراس الشرقي من جنوبي اميركا ثم يمتد الى نحو القطبة الجنوبية . ولكن لا يمكننا ان نتبعهُ الى ابعد من عرض ٧٠° لعدم امكان المراقبات هناك

ثم في نصف الكرة الشرقي يظهر هذا الخط ايضًا عند جنوبي هولاندا الجديدة ويجري الى الشمال مارًّا بالقرب من وسطها . ومن ثم يعوج الى الغرب مجتازًا ٥٠° من الطول ثم يتبع جهة الشمال الغربي قاطعًا بحر قزبين الى الاوقيانوس الشمالي . ويوجد ايضًا خطٌّ منفصل لاميلَ فيهِ يرسم هيئة بيضيٍ

يحيط بالجزء الشرقي من اسيا

ان خط اللاميل يقسم الكرة الى جزئين قريبين من التساوي يسمى احدهما نصف الكرة الاتلانتيكي اذ كان يحتوي الجانب الاكبر من الاوقيانس ويسمى الجزء الاخر نصف الكرة الباسيفيكي كذلك . وفي نصف الكرة الاول ميل الابرة غربي وفي الثاني ميلها شرقي حيثما كانت ما عدا المساحة البيضية المذكورة قبيل هذا ومقدار الميل الشرقي او الغربي يزداد بازدياد بعد الابرة عن خط اللاميل . فان الميل في انكلترا هو ٢٤° غربًا وفي كرينلاندا يتغير من ٥٠° الى ٩٠° غربًا وذلك لان القطبة المغناطيسية في الارض لا تطابق قطبيها كما سياتي . وفي هذه الخارتة ( شكل ٣٠١ ) ترى خط اللاميل وعلى جانبيه صفر وخطوط الميل المتساوي وعلى جانب كلٍّ منها عدد درجات الميل فيه

شكل ٣٠١




٤١٢ ان ميل الابرة عدا تغيره بتغيير البعد عن خط اللاميل يتغير من سنة الى سنة في اي مكان كان من ٣ʹ الى ٥ʹ . وما عدا التغيير السنوي

يختلف ميل الابرة يوميًّا اذ تخطر الى الشرق والغرب . ففي الصيف يبلغ ذلك الى نحو ١٥′ والى ٥′ في الشتاء . ومن الساعة ٨ قبل الظهر الى ١ بعد الظهر الطرف الشمالي من الابرة يعوج من الشرق الى الغرب وترجع الى موضعها الاوسط صباح اليوم الثاني فحركة الابرة هذه يظهر انها متوقفة على جهة الشمس والمرجح انها نتيجة حرارتها

٤١٣ هبوط الابرة . اذا وضعت ابرة مغناطيسية بحيث تحرك بسهولة في سطح الحجر المغناطيسي من اعلى الى اسفل ومن اسفل الى اعلى فلا تكون على جانبي خط الاستواء على موازاة سطح الافق بل انما تهبط القطبية الشمالية منها في الاماكن التي هي في عرض شمالي عن سطح الافق . وزاوية الهبوط تزداد كلما تقدمت الابرة الى نحو القطبة الشمالية وتنقص كلما قربت الى نحو خط الاستواء حتى تصير على موازاة الافق بالقرب منهُ . وهكذا يقال في القطبة الجنوبية من الابرة في الاماكن التي في عرض جنوبي . وهذا ما يقال لهُ هبوط الابرة المغناطيسية . ويقال للخط المار في النقطة التي فيها تكون الابرة على موازاة الافق ولا هبوط لها خط الاستواء المغناطيسي وللخطوط التي كل منها يمر في النقط حيث الهبوط واحد خطوط الهبوط المتساوي

ان خط الاستواء المغناطيسي هو غير قياسي نوعًا وهو واقع قرب خط الاستواء الارضي ولكنهُ يمر حول الارض ولا يحيد عنهُ اكثر من ١٣° . ففي كل مكان شمالي هذا الخط تهبط القطبة الشمالية . وفي كل مكان جنوبي منهُ تهبط الجنوبية . ودرجة الهبوط تزداد غالبًا كازدياد البعد عنهُ حتى تصير الابرة عند نقطة معلومة في نصف الكرة الشمالي

شكل ٣٠٢

وعند اخرى في نصفها الجنوبي عمودية على الافق . ويقال للنقطتين المذكورتين قطبتا الهبوط وتحسبان ايضاً قطبتي خطوط الميل المتساوي . ففي ولاية أنكلترا في اميركا الشمالية تهبط الابرة كما في (شكل ٣٠٣ ) نحو °٧٥

اما قطبة الهبوط الشمالية فقد وجدها القبطان روس سنة ١٨٣١ فكانت في عرض ١٤ ´٧٠° وطول ٤٠ ´٩٦° غربي . واما قطبة الهبوط الجنوبية فلم تعرف لحد الان . ثم انهُ اذا فرض خطٌ يمر في كل الاماكن حيث قطبة الابرة الشمالية تهبط ٥° مثلاً واخر حيث تهبط ١٠° الخ يرسم حول الارض صف من خطوط الهبوط المتساوي يشابه خطوط العرض المتوازية اذ تكون قطبتاها قطبة الهبوط الشمالية والجنوبية المذكورتين . وهذه الخطوط هي اعظم انتظاماً جداً من خطوط الميل المتساوي . وفي هذه الخارتة ( شكل ٣٠٣ ) ترى خط الاستواء المغناطيسي في الوسط وبقربهِ صفر وخطوط الهبوط المتساوي وبقرب كلٍ منها عدد درجات هبوط الابرة فيهِ

شكل ٣٠٣



٤١٤ ان قوة المغناطيس الارضي ليست على حدٍ سوى في

كل مكان على سطح الارض ولكنها تزداد غالبًا بالابتعاد عن خط الاستواء الى نحو كل من القطبتين والخطوط التي كل منها يمر في كل الاماكن حيث القوة متساوية تسمى خطوط الكثافة المتساوية

فتوهم خطوط مغناطيسية مرسومة حول الارض فيحصل من ذلك انتظام خطوط ثالث وهذه الخطوط المنحنية تمر شرق غرب حول الارض ولكنها ليست منتظمة كخطوط الهبوط المتساوي . وفي الاصقاع القطبية تنقسم الى نظامين ينتهيان في قطبتين عند القطبة الشمالية من الارض وقطبتين عند القطبة الجنوبية واحدى القطبتين الاوليين منحرفة قليلاً الى الشمال الغربي من بحيرة سوبيريور عرض ٥٢° وطول ٩٢° . والاخرى هي في الاوقيانس الشمالي شمالاً من اسيا في عرض ٨٥° شمالاً وطول ١٦° شرقًا . ويقال لهاتين النقطتين المحترقان المغناطيسيان . واما المحترقان الجنوبيان فواقعان في شكل هليلجي تقريبًا مركزهُ في جنوبي هولندا الجديدة في عرض ٦٤° ج وطول ١٣٧° شرقًا . وكثافة مغناطيسية الارض العظمى هي نحو ثلثة اضعاف الدنيا

ونقاس كثافة مغناطيسية الارض بعدد الخطرات التي تخطرها ابرة مغناطيسية في وقت مفروض . فاذا حركت ابرة هابطة عن مقرها فمغناطيسية الارض ترجعها الى موقعها الاول واستمرارها يحملها الى ابعد من مقرها الاول ومن ذلك ينتج عدة خطرات . وكثرة الخطرات تتوقف على قوة فعل المغناطيس . فاذا اعتبرنا عدد الخطرات التي تخطرها ابرة واحدة في اماكن مختلفة من الارض في اثناء وقت مفروض كعشر دقائق مثلاً يمكننا ان نقيس كثافات مغناطيسية الارض في هذه الاماكن لان الكثافة تختلف كمربع عدد الخطرات في وقت مفروض

٤١٥ ان اتجاه القطبية الشمالية من الابرة المغناطيسية الى نحو الشمال والجنوبية الى نحو الجنوب تقريباً وموازاة الابرة لسطح الافق عند خط الاستواء المغناطيسي وهبوطها كلما قربت من القطبتين المغناطيسيتين كما اذا قرّبت الى مغناطيس آخر حسبما مرّ ( رقم ٤٠٩ ) وازدياد كثافة المغناطيسية كلما قرّبت الابرة من القطبتين تحملنا على ان نظن ان محور الارض مغناطيس مستطيل يوصل بين قطبتيها وهو الذي يسبب اتجاه الابرة الى الشمال والجنوب وهبوط الابرة بموجب قوانين المغناطيسية

ومن حيث ان قطبة مغناطيس تجذب القطبة المخالفة لها من مغناطيس آخر كما تقدم ينتج لنا انهُ اذا حسبنا القطبة المتجهة الى الشمال من الابرة شمالية يقتضي ان تكون القطبة الشمالية من مغناطيس الارض المشار اليهِ جنوبية والقطبة الجنوبية منهُ شمالية . وذلك بخلاف الاصطلاح الدارج . ويظهر ان ثقل الابرة بعد التمغنط لا يزيد عنهُ قبل التمغنط. واذا وضعنا ابرة مغناطيسية على فلينة عائمة على ماء توقع ذاتها حالاً موقع الحجر المغناطيسي . ولكنها لا تتقدم الى الشمال او الجنوب . ومن ذلك ينتج ان فعل الارض على ابرة مغناطيسية لا يوثر فيها سوى توجيهها الى الشمال والجنوب وان جاذبية الارض لقطبةٍ واحدة من الابرة يساوي دفعها للاخرى تماماً لان فرق البعد بين قطبة الارض المغناطيسية واحدى قطبتي المغناطيس وبينها وبين الاخرى يحسب كلا شي بالنسبة الى بعد قطبة الارض

# الفصل الثالث

## في التمغنط الصناعي ووقاية المغناطيس

٤١٦ للتمغنط الصناعي طريقتان يقال لاحدهما اللمس المفرد وللاخرى اللمس المزدوج

اما الاولى فهي ان يوخذ قطعة الحديد او الفولاذ التي يراد تمغنطها مثل ا ب كما في (شكل ٢٠٤) وتوضع على القطبتين المتخالفتين ش ج من مغناطيسين قويين.

شكل ٢٠٤

فمن شان القطبة الشمالية ش ان تجذب السيال الجنوبي من القطعة الى نحو الطرف ب وان تدفع الشمالي الى نحو الطرف ا . ومن شان القطبة الجنوبية ج ان تدفع السيال الجنوبي الى نحو الطرف ب وتجذب الشمالي الى الطرف ا . ففي برهة تستحيل القطعة ا ب على هذا الاسلوب الى قطعة مغناطيس قطبتها الشمالية عند ا والجنوبية عند ب . وقد تصير عملية التمغنط اعجل جدًّا بموجب الكيفية الآتية . وهي ان توضع قطعتا مغناطيس س و د بملامسة القطعة التي يراد تمغنطها عند نقطة المنتصف . ولكن بدون ان تلامس احداهما الاخرى . ولتكن كلٌّ من زاويتي ميلها على القطعة ٣٠° . ولتحاذي القطبة الشمالية من المغناطيس د الجانب ب والجنوبية من س الجانب ا . جر القطعتين س و د على جهتين متقابلتين من وسط القطعة ا ب الى نحو

نهايتيها ممسكًا احدهما باليد اليمنى والاخرى باليسرى . ثم ارفعهما عن القطعة وضعهما ثانيةً كما تقدّم عند نقطة المنتصف وجرهما الى نحو الطرفين . وبعد ما تدلك القطعة دلكًا كافيًا على جانب واحد يجب قلبها وتكرار ذات العملية المذكورة على الجانب الاخر . وهذه الطريقة قد تستعمل لتمغنط ابر الحك والقطع التي سمكها لا يزيد عن ثمن عقدة

٤١٧ اما طريقة اللمس المزدوج فتجري على القطع ذات السمك الوافر لكونها اعظم فعلاً من الاولى المذكورة وهي كما ياتي

ضع المغناطيسين س و د كما وضعا سابقًا عند المنتصف (شكل ٣٠٤) غير ان زاوية ميلها على القطعة ا ب يقتضي ان تكون ١٥° او ٣٠° . ويجب ان يدخل قطعة صغيرة من خشب بين المغناطيسين س و د لكي تمنع تلامسهما . ثم حرِّك المغناطيسين معًا اولاً الى نحو الطرف الواحد من القطعة ب ثم رجعهما الى نحو الطرف الاخر ا مارّين على طول القطعة كلهِ . ثم جرهما ايضًا على القطعة الى ب وهكذا كرّر العمل الى امام والى خلف من عشر مرات الى عشرين . وبعد ان تدلك القطعة بالكفاية على الجانب الواحد يجب قلبها وتكرار العملية نفسها على الجانب الاخر . ويجب الاحتراس من عدم دلك كلٍّ من الطرفين مراتٍ متساوية لمرات دلك الاخر ومن ان القطبتين السفليين من المغناطيسين الدالكين يتجاوزان طرفي القطعة . ويستحسن وضع قدّة من خشب بين المغناطيسين اللذين تحت القطعة . وهذه الطريقة تجعل درجة مغناطيسهِ قوية

٤١٨ واما مغناطيس نضوة الفرس فيمغنط على الكيفية الآتية

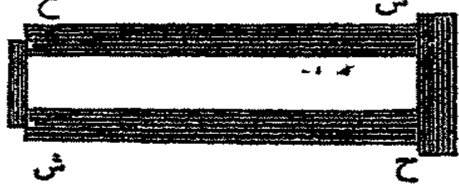
وهي ان يوضع مغناطيس نضوة الفرس عموديًّا على القطعة التي يراد تمغنطها من نفس هذه الهيئة كما في (شكل ٣٠٥) ويُحرَّك من الطرفين الى مكان الانحناء او بالخلاف . ثم يرجع دائرًا في قوس الى النقطة التي ابتدا منها . ويقتضي وضع قطعة من حديد عند قطبتي القطعة التي ستُحَل مغناطيسيتها . ولا يخفى ان كلا المغناطيسين يجب ان يكون عرضهما واحد

شكل ٣٠٥

٤١٩ وقاية المغناطيس. من حيث ان المغناطيس تضعف مغناطيسيتهُ بطول الزمان وكثرة الاستعمال يقتضي استعمال وسائط لوقايتهِ من ذلك . لان السيالين اللذين قد انحلاَّ في المغناطيس يميلان الى الاتحاد كما مرَّ فبطول الزمان يقتربان من الاتحاد . وبكثرة الاستعمال لا يسلم المغناطيس من سوء المعاملة ولو بغير قصد كنتق الحديد عنهُ ورميهِ على جسمٍ صلب وغير ذلك من الامور التي تنقص مغناطيسيتهُ كما تقدم

فاذا كان المغناطيس مستقيمًا فالاحسن لوقايتهِ ان يوضع معهُ مغناطيس آخر على موازاتهِ في صندوق بحيث تحاذي كلٌّ من قطبتي الواحد المخالفةَ لها من قطبتي الآخر كما في الشكل . ويوضع عند طرفيهما قطعتان من حديد . فهاتان القطعتان اذ تكونان قد تمغنطتا بالحل تفعلان ايضًا بالمغناطيس بان يجذب كل من سياليهما السيال المخالف لهُ ويدفع

شكل ٣٠٦



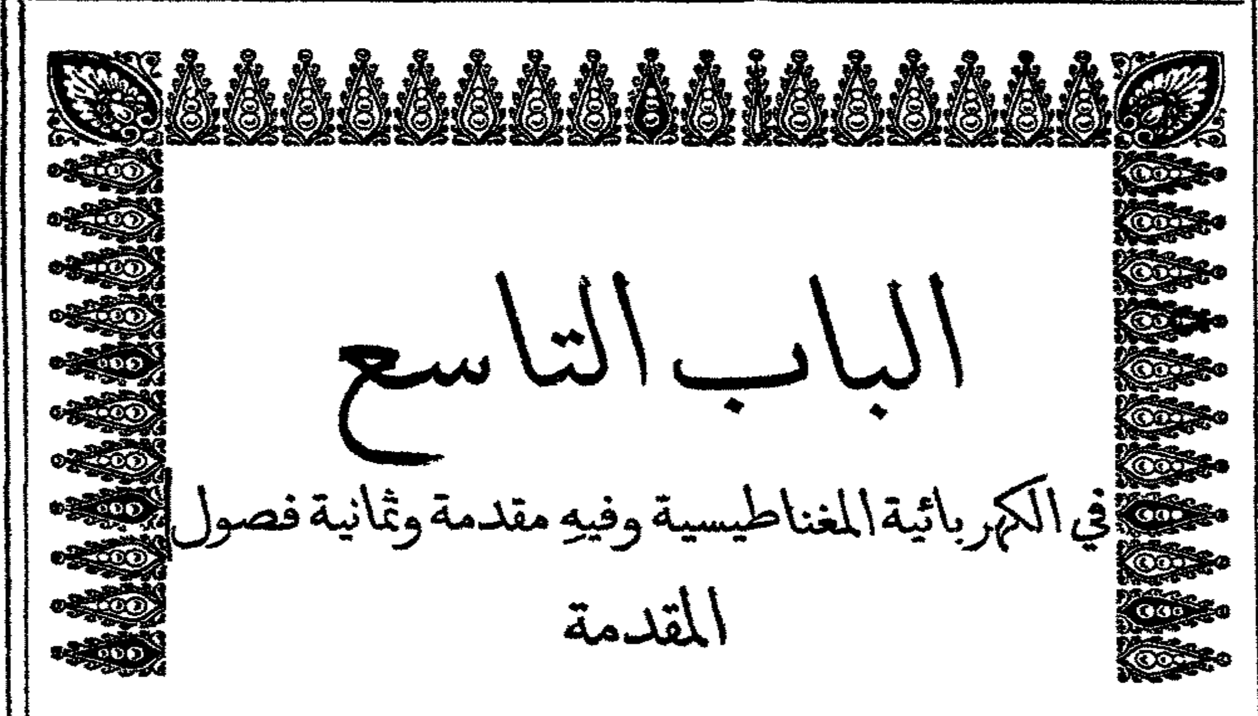
المجانس وبدوام فعلها يحفظان المسياليين في حالة الحل الذي هو علة ظهور القوة المغناطيسية كما اشرنا سابقًا . وايضًا بواسطتها تزيد تقوية كلٍّ من المغناطيسيين الآخرَ. واذا كان المغناطيس من شكل نضوة الفرس او اللامين المعلقتين يكفي لحفظ مغناطيسيتها ان يوضع قطعة من حديد لكي تلتصق على طرفيهِ

٤٣٠ الحك . ان معرفة خاصية اتجاه المغناطيس الى الشمال قد افادت جدًّا في معرفة الجهات التي تحتاج اليها النوتية في البحر والمسَّاحون والتائهون في القفار وغيرهم لاجل تحقيق جهة الشمال منهم او معرفة انحراف مكان آخر عن شماليهم او عن جنوبيهم. ولا يخفى ان من يعرف جهة الشمال منهُ يعرف الجنوب اذ كان الثاني يقابل الاول على خط مستقيم ومنها يعرف شرقيهُ وغربيهُ لكون الخط الذي يمر شرقَ غربَ هو عمودي على الخط الذي يمر شمالَ جنوبَ عند موقع الشخص فمعرفة الشمال تفيد معرفة الجهات الاربع. فكانت معرفة الخاصية المذكورة للمغناطيس سببًا لاصطناع الحك الذي الجوهري فيما يحتويهِ من المواد ابرةٌ مغناطيسية تدور الى الشمال . ولايخفى ان فائدة الحك هي عظيمة ومعتبرة جدًّا لانهُ قبل ايجادهِ لم يكن يتجرأ رُبَّان مركب ان يشطَّ في الاوقيانس المتَّسع خوفًا من انهُ يضل فيهِ فيهلك كمدًا ولا يعلم فيهِ احدٌ لعدم معرفتهِ جهة طريق الرجوع الى البر. ولم يكن يدري ان يسير في الطريق

الاقرب في خط مستقيم الى حيث هو قاصدٌ لعدم معرفتهِ جهة مسيرهِ تمامًا وجهة المكان المقصود الا بطرق استقرائيّة كملاحظتهِ بعض جبال او اماكن اخرى على البر او مراقبتهِ بعض النجوم . والذين ترحّلوا في البوادي كعرب البدو او التزموا ان يضربوا فيها كبعض القوافل اضطروا ان يدرسوا مواقع مجاميع النجوم واسماءها واسم كل نجم بمفردهِ لكي تكون لهم دلائل على جهات المسير ولذلك كانوا بالاجمال امهر من غيرهم في هذا الفن . والآن يستخدَم الحك كثيرًا في البوادي فيساعد ويفيد جدًّا في معرفة الجهات . وكل من درس فن المساحة يعرف نفع الحك في قياس زوايا اضلع قطعة من الارض لمعرفة مساحتها . ولا يخفى انهُ عند ارادة التدقيق في معرفة انحراف مكان عن الجهة الشمالية من الحك يجب ان يضاف او يُطرَح ميل الابرة الذي مرَّت الاشارة اليهِ ( رقم ٤١١ ) بحسب الاقتضاء في المكان الذي فيهِ الحك ما لم يكن في خط اللاميل . ومن كان لهُ خارتة مغناطيسية متّسعة مدققة يعرف منها ميل الابرة لاي مكان فيصلح خطا الميل

اما ابرة الحك فمدخل في مركزها حجرٌ صلب كالماس لهُ تجويف مخروطي يستقر على ملاثٍ مروس لكي يقل فرك الابرة عليهِ فتدور بسهولةٍ . وهذا الملاث مصنوع من فولاذٍ صلب

مروس مركز في وسط قعر العلبة وموضوعة عليهِ الابرة. وكل ذلك ضمن علبةٍ مستديرة مغطّاة بزجاج. وحول حافة العلبة دائرة مقسومة الى درجات قطرها اقل قليلاً من طول الابرة مركزها راس الملاث المذكور. وما عدا الدائرة المذكورة توجد دائرة في قعر العلبة مقسومة الى اثنين وثلثين قسماً والنقط التي تقسمها تسمى نقط الحك بين كل ربعٍ ثمانية اقسام. وفي حك البحر يلصقون الابرة بكرتونة تدور معها. اما علامة الدليل في الحك فهي خطٌّ طولي على حافة العلبة ترسمهُ دائرة سمتية تمر بمقدَّم المركب ومؤخَّرهِ. والدرجات على الكرتونة الملتصقة بالابرة التى تشير اليها علامة الدليل هي زاوية انحراف جريان المركب عن الشمال او الجنوب الى الشرق او الغرب. وهرَبًا من ارتجاج الابرة بحركة المركب يجعل لعلبة الحك محور يدخل طرفاهُ في حلقةٍ افقية لكي يتحرك على محورهِ وللحلقة المشار اليها محورٌ مدخل طرفاهُ في طرفي نصف حلقةٍ سمتية مثبتة. وبذلك تبقى علبة الحك افقية تماماً كيفما اضطرب المركب. واستيفاء الكلام بشان الحك من متعلقات فن حساب المثلثات والمساحة



# الباب التاسع

## في الكهربائية المغناطيسية وفيهِ مقدمة وثمانية فصول

## المقدمة

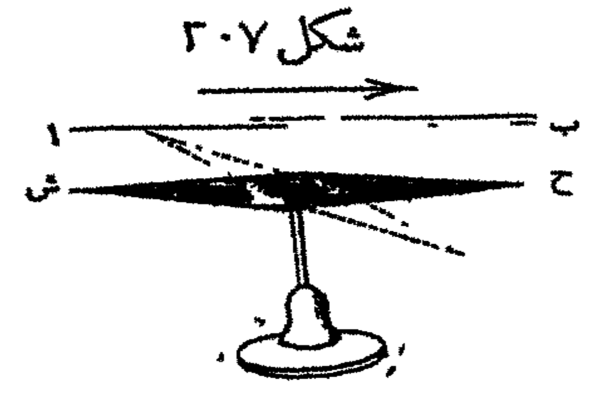
### في تحديد الكهربائية المغناطيسية وتاثير المجرى الكهربائي في الابرة المغناطيسية

٤٣١ الكهربائية المغناطيسية هي قسمٌ من الفلسفة الطبيعية يبحث فيهِ عن الحوادث الطبيعية الصادرة عن تفاعل الكهربائية والمغناطيسية معًا

انهُ سنة ١٨١٩ اكتشف العلاَّمة ارستد من كوبنهاغن انهُ اذا جرى مجرى كهربائي على موصل من شريط معدني ووضع على موازاة ابرة مغناطيسية متجهة الى الشمال سواء كان وضعهُ فوقها او تحتها او على احد جانبيها تدور حتى تصير عمودية عليهِ. فان كان الشريط فوق الابرة والمجرى الكهربائي يمر عليهِ من الشمال الى الجنوب تنحرف قطبها الشمالية الى الشرق او تحتها فالى الغرب. وان كان على الجانب الشرقي ومرور المجرى ايضًا من الشمال الى الجنوب تنحرف القطبة الشمالية الى تحت او على الجانب الغربي فالى فوق

وتنعكس كل هذه الانحرافات اذا انعكست جهة المجرى الكهربائي

مثاله في هذا الشكل ليكن الشريط المعدني ا ب والابرة المغناطيسية ش ج . فان كان اب فوق الابرة والمجرى الكهربائي يمر من ا الى ب اي من الشمال الى الجنوب تنحرف القطبة ش الى الشرق وان كان تحتها فبالعكس . وان كان على جانبها الشرقي تنحرف ش الى تحت




شكل ٣٠٧

وان كان على الجانب الغربي فبالعكس وكل ذلك ينعكس اذا تغير المجرى الكهربائي بجعلهِ يمر من ب الى ا اي من الجنوب الى الشمال . ولكونهِ يصدر عن اختلاف وضع الشريط ومجراهُ ووضع الابرة احوال عديدة لا تحصى فيحسن لاجل سهولة الحفظ ان تكون قاعدة مختصرة عمومية لمعرفة كلٍّ من تلك الاحوال وقد وضعت لذلك هذه القاعدة . وهي

اذا توهمت نفسك منطرحًا تحت المجرى او فوقهُ بحيث تجري الكهربائية الموجبة من راسك الى نحو قدميك وقطبة المغناطس الشمالية تجاه وجهك فهذه القطبة تنحرف ابدًا لنحو اليمين

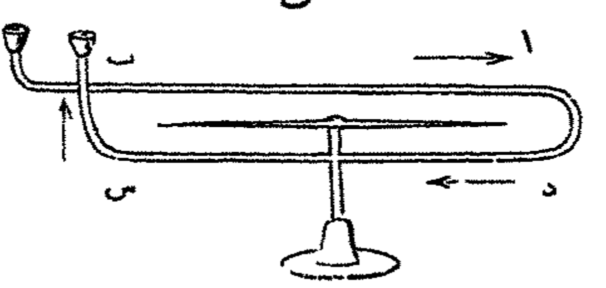
فاذا اعتبرت هذه القاعدة جيدًا تهتدي دائمًا الى جهة القطبة الشمالية من الابرة المغنطيسية الموضوعة قرب مجرى كهربائي . ويجب على التلميذ ان يحفظها جيدًا ويجري بموجبها لكي يرتشد في جميع الاحوال . ولا شك انهُ اذا انحرفت القطبة الشمالية من مغناطيس الى اليمين تنحرف الجنوبية الى اليسار

# الفصل الاول

## في الكلفنومتر

٤٣٣ انهُ بعد ان اكتشف العلاَّمة ارستد الامر المذكور اصطنع من ذلك مقياساً لمعرفة وجود السيال الكهربائي مثل الالكترومتر سمي كلفنومتر اي مقياس المجرى الكلفني.

شكل ٣٠٨

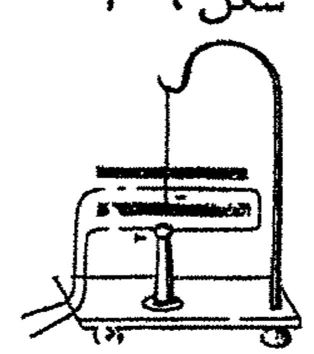



فاذا التوى الشريط الموصل ا ب س د كما في (شكل ٣٠٨) حتى يصير بيضي الشكل محيطاً الابرة ومرَّ عليهِ مجرى فالجزء من المجرى الذي تحت الابرة يُزيغ القطبة الشمالية الى نفس تلك الجهة التي يزيغها اليها الذي فوق الابرة كما لا يخفى من ملاحظة القاعدة المارَّة. اوكلا جزئي الشريط يميلان القطبة الجنوبية في الجهة المتقابلة حتى تزوغ الابرة بمضاعف القوة التي تزيغها شريطةٌ مفردة مستقيمة. واذا التف الشريط لفَّتين حول الابرة تتضاعف كذلك قوة المجرى لازاغة الابرة. واذا التف الشريط مئة مرة تزداد تلك القوة مئة ضعف. ولكن يجب ان يغطَّى حينئذٍ الشريط بحرير ملفوف عليهِ اوبمادة اخرى فاصلة لكي تمنع مرور المجرى الكهربائي من لفة الى اخرى في طريق مستقيم. فاذا اصطنع كلفنومتر على هذا الاسلوب يظهر ادنى اثر للكهربائية على الشريط بدوران الابرة

٤٣٣ الآلة التي هي على هذا الاسلوب سميت بالمضاعف ايضاً لازدياد مفعول المجرى الكهربائي بها. اما طرفا شريط الكلفنومتر فيقتضي ان يبقيا سائبين لكي يرسل المجرى الكهربائي مارّاً بالطرف الواحد في كل طول الشريط الى الطرف الاخر. واما الابرة فتعلق بخيطٍ من حرير خام وتوضع تحتها دائرة كوجه الساعة مفروض عليها درجات. ولاجل حفظ الآلة من مجاري الهواء تغطى بغطاء من زجاج. وعند ما يقتضي استعمال الآلة يجب ان توضع بحيث تكون لفات الشريط متجهة في جهة الهجر المغناطيسي. فاذا لم يمر مجرى فالابرة تستقر حينئذٍ في جهة اللفة وانما مرور مجرى كهربائي يصدر عنهُ زيغان دائم للابرة

٤٣٤ الكلفنومتر الاستاتيك. ان مغناطيسية الارض تقاوم زيغان الابرة المغناطيسية في الكلفنومتر المذكور قبيل هذا لانها تجذب قطبها الشمالي الى جهة الشمال كما تقرر في المغناطيسية فلاجل ازالة هذا المحذور وضعوا ابرة فوق ابرة كما في هذا الشكل بحيث ينعكس وضع قطبيهما اي بحيث يجعل قُطب الواحدة الشمالي فوق قطب الاخرى الجنوبي فان فعل مغناطيسية الارض يبطل حينئذٍ لانهُ بمقدار ما تجذب قطبة الابرة

شكل ٣٠٩



الواحدة تدفع قطبة الثانية اذ تجذب قطبة الثانية قطبة الاولى. ولكون الابرتين لا تميلان حينئذٍ الى الثبات في جهة واحدة سمي هذا الكلفنومتر بالاستاتيك وهي لفظة يونانية معناها غير ثابت. غير انهم لاجل بقاء قوة طفيفة جدًّا قلما تؤثر مقاومتها لكي تميل الابرة الى ان تكون على جهة ثابتة عند عدم فعل المجرى الكهربائي قد رأوا ان يجعلوا قوة احداهما وهيَّ السفلى اعظم من الاخرى. وشكل ٣٠٩ يُرينا المواد الجوهرية في الآلة واما البراغي والمواد الاخر

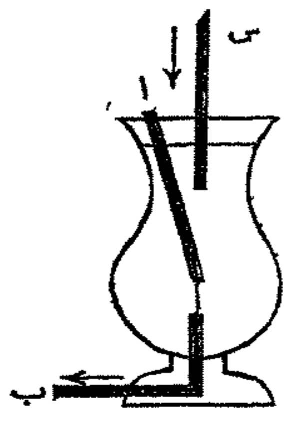
المصنوعة لاجل جعل سطحها افقيًّا او لاجل غايات اخر فلا داعي موجب تصويرها

# الفصل الثاني

## في حركة مغناطيس حول شريط موصل

٤٣٥ لما كانت شريطة حاملة المجرى الكهربائي من طبعها أن تميّل القطبة الشمالية من قطبة مغناطيسية الى نحو اليمين فقد يُعمَل باعتبار ذلك تدبيرٌ بهِ يجعل المجرى الكهربائي حركةً دائمة لاحدى قطبتي المغناطيس حول الشريط الموصل. ففي هذا الشكل ترى وعاء من زجاج ملآناً زيبقًا الى قرب الشفة. ا قضيبًا مغناطيسيًّا مربوطاً بخيط دقيق في الشريط الموصل ب الذي يمرّ في قعر الاناء ولنفرض قطبتهُ الشمالية عند طرفهِ الاعلى ا والشريطة س متصلة باحدى قطبتي بطارية فولطائية حتى يمرّ مجرًى عليها الى الزيبق ومن ثمّ بالشريطة ب الى البطارية. وهذا المجرى يدفع القطبة الشمالية ش من المغناطيس الى

شكل ٢١٠

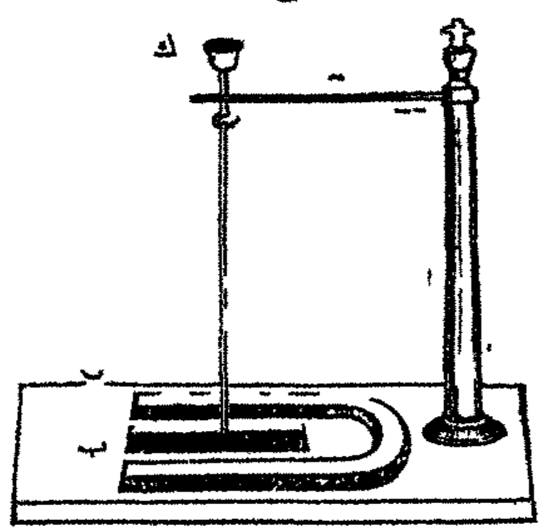



اليمين بموجب ما تقرر سابقًا ويجعلها تدور حول الشريط في جهة دوران عقربَي الساعة اذا كان المجرى الموجب يمرّ من س الى ب كما يدل عليهِ السهم. واذا انعكس المجرى ينعكس دوران القطبة ش. وكذلك اذا جُعِل المغناطيس ثابتًا والشريط مربوطاً متحركًا يتحرك الشريط في جهة خلاف مجرى عقارب

الساعة. لانهُ كما يحصل فعل يحصل انفعال وقد امتحنوا ذلك بطرق مختلفة

لنفرض (شكل ٢١١) ان ا شريطة من بلاتين معلقة عروتها بشريطةٍ من نحاس متصلةٍ بالكاس لك المحتوي زيبقًا . وطرف الشريطة البلاتين الاسفل مغموس في حوض صغير من زيبق ب الذي يتصل بكاس صغير ن

شكل ٢١١



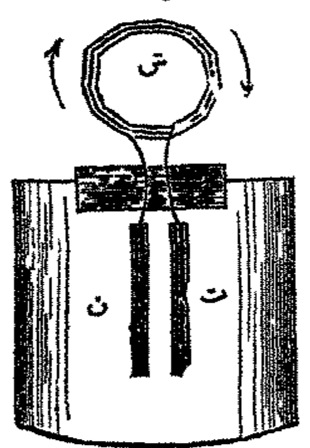

ايضًا محتويًا زيبقًا لاجل اتمام الدائرة الكهربائية. والشريطة ا معلّقة تتحرك بسهولة بين القطبتين ش وج من مغناطيس نضوة الفرس. فاذا مرَّ مجرًى فولطائي في الشريطة ا بدفع القطبة ش من المغناطيس لنحو اليمين ورد الفعل من المغناطيس على المجرى يدفع الشريطة لنحو اليسار. والقطبة ج من المغناطيس تتفق مع القطبة ش في دفع الشريطة على الجهة المرقومة . فالشريطة تنجذب بذلك الى خارج الزيبق وينقطع المجرى حينئذٍ ويبطل مفعولهُ الى ان تقع الشريطة بثقلها ايضًا الى الزيبق وعند ذلك يتكرر العمل وهلمَّ جرًّا فتتذبذب الشريطة الى خلف والى امام بسرعة كلية

# الفصل الثالث

## في فعل المغناطيس على حلقة موصلة

٤٣٦ اذا التفَّ شريط موصل لمجرًى كهربائي بهيئة دائرة فوجهٌ من الدائرة تجذبهُ القطبة الشمالية من مغناطيسٍ والوجه الآخر تجذبهُ الجنوبية . ليكن ن وت لوحي بطارية فولطائية صغيرة معلّقين بفلينة ذات مقدار كافٍ لان يجعل اللوحين يعومان في حامض مخفف وليوصَل بين اللوحين بشريط نحاس ش بصورة دائرة . فيجري حينئذ مجرًى كهربائي من لوح النحاس ن مارًّا في الشريط المستدير راجعًا الى لوح التوتيا ت . فاذا نظرنا الى جانب واحد من سطح الدائرة يظهر لنا ان المجرى يدور في جهة دوران عقارب ساعة وانما اذا نظرنا الى الجانب الآخر يظهر ان المجرى يدور في جهة عكس الاولى . ثم اذا أُحضرت قطبة شمالية من مغناطيس الى الاول فالشريط يجتذَب بالمغناطيس وان أُحضرت قطبة جنوبية الى ذلك الجانب فالشريط يندفع . وباستعمال شريط اطول ولفّهِ عدة مرات في دائرة يزداد جدًّا فعل المغناطيس . وكل ذلك يجري على القاعدة المذكورة سابقًا لان الوجه الذي يجري فيهِ المجرى على جهة دوران عقارب الساعة يجذب القطبة الشمالية ليجعلها عن يمينك اذا توهمت المجرى مارًّا على راسك كما في القاعدة ويدفع

شكل ٢١٢

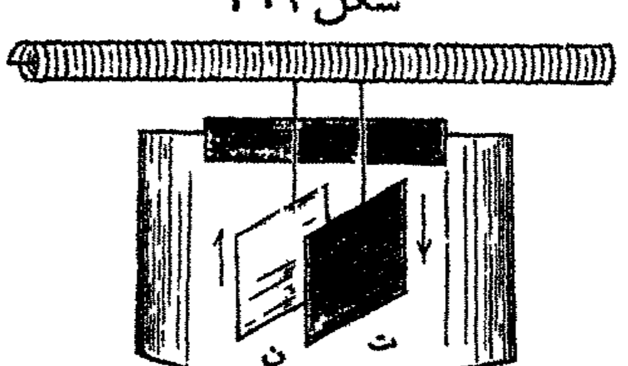


الجنوبية لذلك

٤٣٧ فعل مغناطيس بلفة موصلة. ان فعل المغناطيس بالشريط الموصل لمجرى كهربائي يكون اقوى جدًّا اذا التفت الشريطة لفًّا حلزونيًّا على سطحٍ اسطوانيٍّ

لتدخل الشريطة المتصلة بلوح النحاس كما في (شكل ٣١٢) في ثقب مصنوع في جانب اسطوانة فارغة كريشة طويلة مثلاً ولتمر في المحور الى طرفٍ واحد من الاسطوانة. ثم لتلفّ لفًّا حلزونيًّا حول خارج الاسطوانة الى الطرف

شكل ٣١٢




الآخر ولترجع في محور الاسطوانة وتخرج قرب الوسط وتوصل بلوح التوتيا من البطارية. فبهذه الطريقة يمر المجرى في كل طول الشريطة ويجري في كل لفّة على جهة واحدة. فطرف واحد من اسطوانة كهذه تجذبه بقوة عظيمة القطبة الشمالية من مغناطيس وتدفعه الجنوبية. وهذا التدبير ماسماه اميير الفرنساوي الكترودينياميك لفظة يونانية معناها كهربائية قوية لظهور قوة الكهربائية فيه. ويظهر ان لهذه الاسطوانة خصائص المغناطيس. لان مغناطيسية الارض تفعل بها بان تركزها على جهة الحجر المغناطيسي اذا جعلت تتحرك بسهولة كما اذا أُثبت طرفا الشريطة الموجب والسالب بقطعة فلين تعوم على الحامض المخفف كما في الشكل. واذا قربت اليها اسطوانة أُخرى مصنوعة على اسلوب هذه فالقطبتان المتخالفتان تتجاذبان والمتفقتان تتدافعان وبين كل منهما

والمغناطيس تجاذب وتدافع كما بين مغناطيسين

# الفصل الرابع

## في التمغنط بمجرى كهربائي

٣٢٨ ان اللفة الموصلة لمجرى كهربائي المذكورة آنفاً تجذب القطبة الشمالية بحيث تجعلها عن اليمين اذا تصورت المجرى الكهربائي يجتاز من راسك الى قدمك كما مرّ وتبقى تجذبها حتى تدخل في جوفها . وانما اذا ادخلنا في جوف اللفة قضيباً من حديد وفولاذ فالحديد يتمغنط تمغنطاً وقتياً بلحظة ويجذب برادة الحديد ويقال له حينئذٍ المغناطيس الكهربائي . والفولاذ يتمغنط تمغنطاً مستديماً ويكون موقع قطبتي كل منها كالمغناطيس الاصلي لو دخل جوف اللفة . فاذا مرّ المجرى الكهربائي الموجب على الشريط وكان ملفوفاً على الاسطوانة دائراً على جهة دوران عقارب الساعة وتوهمت نفسك واقفاً تجاه اللفة بحيث يمرّ المجرى من راسك الى قدميك وادخلنا قضيباً من

شكل ٣١٤

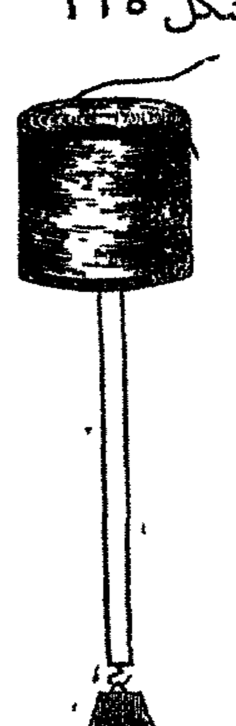


حديد في جوف الاسطوانة يصير مغناطيساً قطبتهُ الشمالية عن يمينك . وان ادخلنا القضيب في اسطوانة اخرى فيها كان الشريط دائراً على خلاف جهة دوران عقارب الساعة فبالعكس كما ترى (شكل ٣١٤) . فان القطبة الشمالية تكون عند ب في الشكل الاول والجنوبية عند د في الثاني وبالعكس

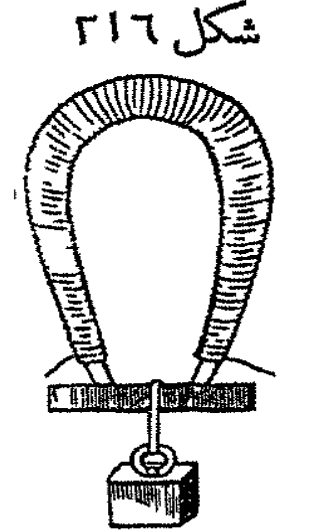
عند او س اذ يفرض ان المجرى الكهربائي جارٍ مجرى السهام؛ والشريط في الاول يدور على مجرى عقارب الساعة وعلى خلاف جهة في الثاني . واما الفولاذ فيصير مغناطيسًا دائمًا موقع قطبتهِ كموقع قطبة القضيب الحديدي. وكلما تكررت اللفات الى ذات اليمين وذات الشمال زاد الفعل المغناطيسي فقد يلفون احيانًا من الشريط نحو ٣٠٠ ذراع على اسطوانة من كرتون على طرفيها قرصان فاصلان من الكوتابرخا او الزجاج بهيئة بكرة واحيانًا اقل او اكثر . وذلك ما يقال له حينئذٍ لفة الحدة او المجاورة . ولاجل منع تجاوز المجرى من لفة الى اخرى على خلاف جهة جريان الشريط تفصل الشريطة بلف خيطان حرير او قطن عليها

٤٣٨ فعل مجرى لفائف الحدة . قد تقدم ان الحديد يتمغنط تمغنطًا وقتيًّا اذا كان موضوعًا داخل اللفة فينتج انهُ اذا انقطع المجرى يرجع حديدًا. فاذا امسكت اللفة ا ذات المحور الحديد عمودية على الافق وجرى فيها المجرى

شكل ٢١٥



شكل ٢١٦



الكهربائي فالقضيب من الحديد ب يتعلق فيها . واذا كانت البطارية كبيرة

واللفة ذات شريط مستطيل يمكن ان يعلّق في القضيب ثقل جسيم وكلاهما يتعلقان بدون رباط ظاهر بل بقوة مغناطيسية . وحالما يبطل المجرى الكهربائي تزول المغناطيسية فيقع الحديد المجذوب . ويقال لمغناطيس وقتي كهذا مغناطيس كهربائي. وقد اصطنع مغناطيس كهربائي على اسلوب اخر اقوى جدًّا من المذكور. وهو ان يلوى اسطوانة ثخينة من حديد لين ا ب (شكل ٢١٦ ) حتى تصير نضوية اي بهيئة نضوة الفرس ويلف عليها شريط نحاس ملفوف عليهِ فاصل كخيط حرير . فاذا مرّ مجرًى كهربائي في الشريط فالحديد يصير مغناطيسًا قويًّا ويرفع مقدارًا ثقيلاً بواسطة الحاملة س التي هي من حديد لين لاصقةً بقطبيهِ . وقد عمل العلاَّمة هنري تجربةً مثل هذه فلفَّ على نضوة الفرس من حديد لين ٧٣٨ قدمًا من شريط نحاس واستعمل بطارية مساحة التوتيا فيها خمسة اقدام مربعة فحمل هذا المغناطيس ٢٧١ رطلاً . وقد صنع مغانيط اخرى تحمل ٧٣٠ رطلاً. ولا يخفى انهُ اذا انعكس المجرى الكهربائي تنعكس القطبتان حالاً . وحالما يبطل المجرى تزول المغناطيسية بسرعة

# الفصل الخامس

## في تفاعل مجاري كهربائية

٤٣٩ ان شريطين متوازيين حاملين مجريين كهربائيين يتجاذبان اذا جرى المجريان في جهة واحدة . ويتدافعان اذا جريا في جهتين متقابلتين

ففي (شكل ٢١٧ ) ترى السهام والعلامات + و– تدل على جريان

شكل ٣١٧

١

٢

المجاري . فمتى كان المجريان متفقين كالشكل الاول يتجاذب الشريطان ومتى اختلفا كالثاني يتدافعان فيشابهان حينئذٍ مغناطيسين كما لا يخفى

ولايضاح ذلك لنذكر تجربتين احداها بطارية صغيرة كهذا الشكل ذات لوح توتيا مملغم ولوح نحاس او توتيا وبلاتين مثبتين في قطعة من فلين ا ب لكي يعوما قطباها الايجابي والسلبي متصلان بوصلة شريط س ت . فاذا عام اللوحان في

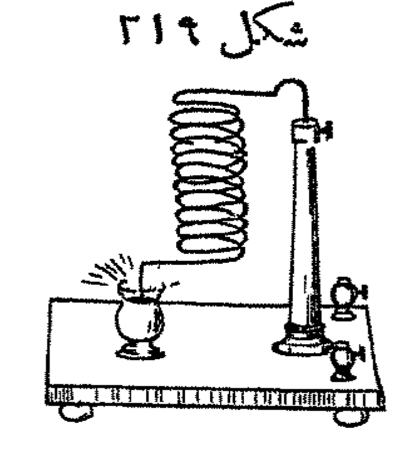
شكل ٣١٨




حامض مخفف وجرى مجرًى كهربائي على جهة السهم ووصلتَ بين قطبي بطارية كروف اوسي بوصلة من شريط طولها مناسب وقرّبتها بيدك لكي تكون متوازية للشريط س ت فان كان المجرى جاريًا في جهة جريان مجرى س ت فاللوحان العائمان بواسطة الفلية يجذبان الى الشريطة في يديك والا يندفعان . وان لم يكن الشريطان متوازيين فالمجري المتحرك يميل ان يقع موقع التوازي

التجربة الثانية التي بها يتضح ايضًا جاذبية موصلات متوازية هي كما ترى في ( شكل ٣١٩ ) . فالموصل هنا ملفوفٌ لفًا حلزونيا معلق طرفهُ الاعلى براس عمود معدني متصل بقطبة واحدة في بطارية وطرفهُ الاخر مغموس في الزيبق الموضوع في كاسٍ من زجاج المتصل بقطبتها الاخرى . فعند مرور المجرى الكهربائي كل ثنية من اللفة تجذب التي تليها لكون المجرى عليها جاريًا الى جهة واحدة فتقصر اللفة

شكل ٣١٩



ويرتفع الطرف الاسفل من الزيبق وحينئذٍ ينقطع المجرى بظهور شرارة كهربائية ثم ترجع اللفة بمرونتها وثقلها الى حالها فيهبط طرفها الاسفل وينغمس بالزيبق وهكذا تدوم الذبذبة ما دام المجرى جاريًا

ثم انهُ قد عرف من الامتحان ان مجريين يتتبع احدهما الاخر على استقامة واحدة واجزاء مختلفة من مجرى واحد يدفع احدها الآخر. وان مجريين من كثافة واحدة جاريين على التوازي واحدها قريب من الاخر اذا جريا على جهتين متقابلتين لا يفعلان في مجرى اخر مارًّا بالقرب منهما لان احدهما يمحق قوة الآخر

# الفصل السادس

## في ظهور مجاري الكهربائية بفعل المغناطيس

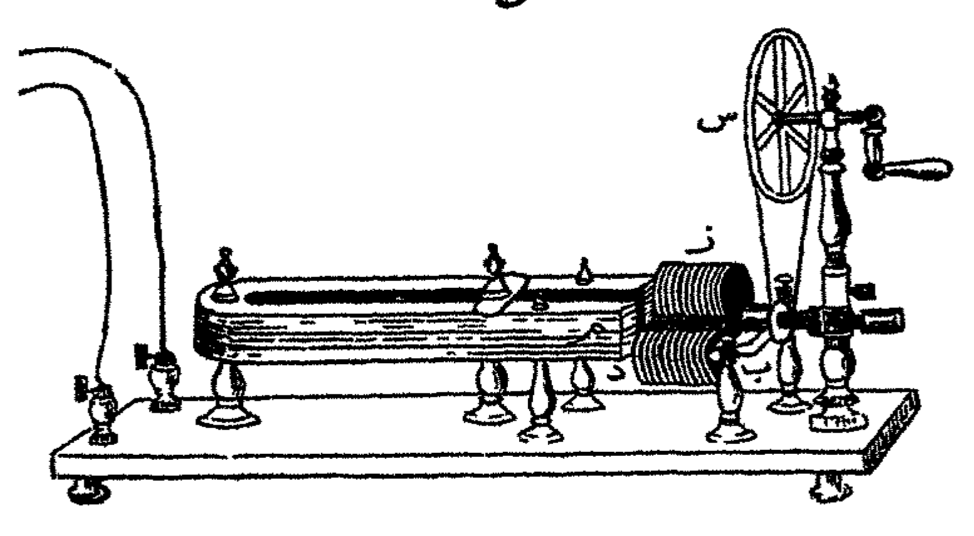
٤٣٠ اذا اخذنا شريطة مفصولة طويلة ملفوفة لفًّا حلزونيًّا ووصلنا طرفيها بكلفانومتر وادخلنا قطبة واحدة من مغناطيس دائم في اللفة يحصل زيغان وقتي للابرة . ثم ان كنا بعد ان تستقر الابرة نسحب المغناطيس تزوغ في جهة خلاف الجهة التي زاغت فيها اولاً . فينتج ان للمغناطيس قوةً لحل الكهربائية ولذلك يظهر فعل كهربائي عند تقديمهِ الى مادة اذ يحل كهربائيتها وايضاً عند ازالتهِ

عنها اذ ترجع الكهربائية الى الامتزاج كما مر في الحل الكهربائي

( رقم ٣٣٥ )

الة كهربائية مغناطيسية. قد اصطُنع آلة لاجل اظهار المفاعيل الكهربائية بطريقة عجيبة ولاجل ذلك يستعمل مغناطيس نضوي م ( شكل ٣٢٠ )

شكل ٣٢٠




مركب من عدة مغانيط نضوية مرصوفة بعضها فوق بعض و ن و د قطعتا حديد ليّن على كل واحدة منها لفة شريط مفصول تداران تجاه قطبي المغناطيس بواسطة الدولاب والركبة س وهاتان اللفتان متصلتان بشريطين في راسيهما مسكتا معدن للامساك تحت كرسي الالة فعند تشغيلها يشعر من يمسك بالمسكتين بالهزة الكهربائية. وهذه الآلة كثيرة الاستعمال لاستخدام الكهربائية في المعاملات الطبية وذلك لسهولة نقلها واستعمالها

# الفصل السابع

## في التلغراف

٤٣١ ان اهم فوائد الكهربائية في مصالح البشر هي استخدامها لايصال الاخبار من مكان الى اخر يبعد عنهُ عدة مراحل في اسرع وقت . والآلة التي ترسل الاخبار بواسطة الكهربائية يقال لها تلغراف من لفظة يونانية معناها كتابة البعد ويقال لها ايضاً السلك البرقي والشريط البرقي لان الكهربائية تسري على شريط من معدن يوصل بين المكانين لاجل حصول الدائرة الكهربائية كما سياتي

التلغراف الكهربائي يصطنع على هيئات مختلفة . ولكن الاكثر استعمالاً في اميركا واوربا تلغراف العلاَّمة مورْسْ الاميركاني المخترع الاول للتلغراف الذي اول تشغيلهِ كان بين واشنطون وبلتيمور وهما ايالتان من البلاد المتحدة في اميركا سنة ١٨٤٤ . والادوات الجوهرية التي يتالف منها هذا التلغراف ثلاثٌ اولها بطارية فولطائية لاجل انتشاء الكهربائية . ثانيها شريط موصل لحمل المجرى الكهربائي الى ايّ بعدٍ يراد . ثالثها الراقم لاجل تدوين العلامات المستعملة للدلالة على الحروف الهجائية وسياتي الكلام على كلٍّ منها

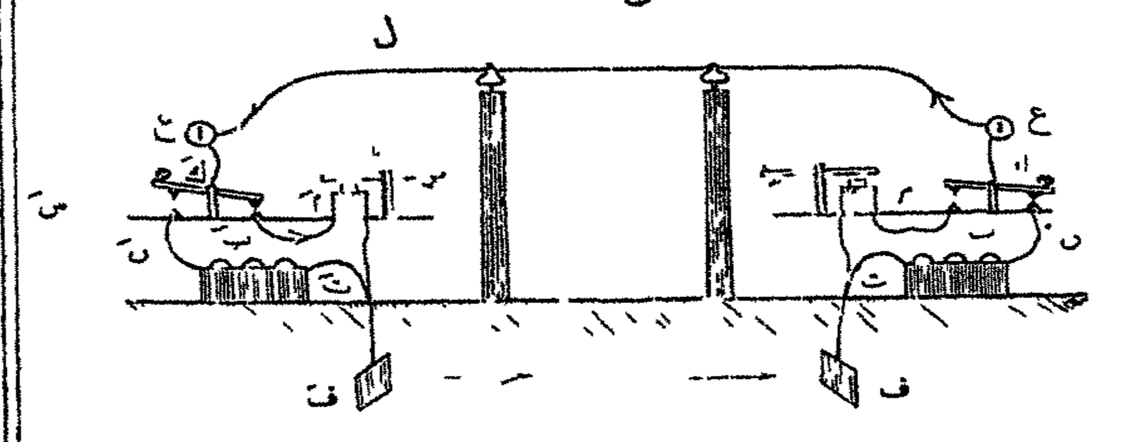
اما البطارية فالنوع المستعمل منها غالبًا لاجل توليد الكهربائية بطارية كروف . وكبر البطارية المطلوبة يتوقف على البعد . ولاجل تلغراف على

بعد مئة ميل قد عرف انهُ يقتضي غالبًا ان تكون البطارية ذات ٢٥ كاسًا

اما الشريط الموصل فلاجل عدم تبديد الكهربائية يجب ان يكون مفصولاً . اما الطريقة العمومية لفصلهِ فهي ان يلقى على كراتٍ من زجاج مثبتة في عواميد من خشب علوها من ٢٠ الى ٣٠ قدمًا ولا يحتاج الى فاصلٍ آخر . ولقوة الحديد العظمى في الايصال ورخصهِ يفضل على النحاس

٤٣٢ الاتصال بين محلّين بالتلغراف. لنفرض انهُ يقتضي بعث رسالة تلغرافية من بيروت الى دمشق مثلاً . بيروت عند س ودمشق عند سَ ( شكل ٢٢١ ) ثم ب وبَ بطاريتان في المحلين والكهربائية الموجبة في كل منهما تجري من ت الى جهة ن وك كَ مفتاحان لارسال الكهربائية وسنوضحهما. وغ غَ كلفنومتران . وم مَ القابلتان وهما المغناطيسان الكهربائيان الملفوف عليهما لفايف شريط معدني لكي يتمغنطا بالكهربائية وسميا بالقابلتين لكونهما يقبلان الكهربائية . ور رَ الراقمان وسميا بذلك لكونهما يرقمان حروفًا كما سياتي . ول ل الشريط المفصول على عواميد وف فَ لوحان من معدن

شكل ٢٢١



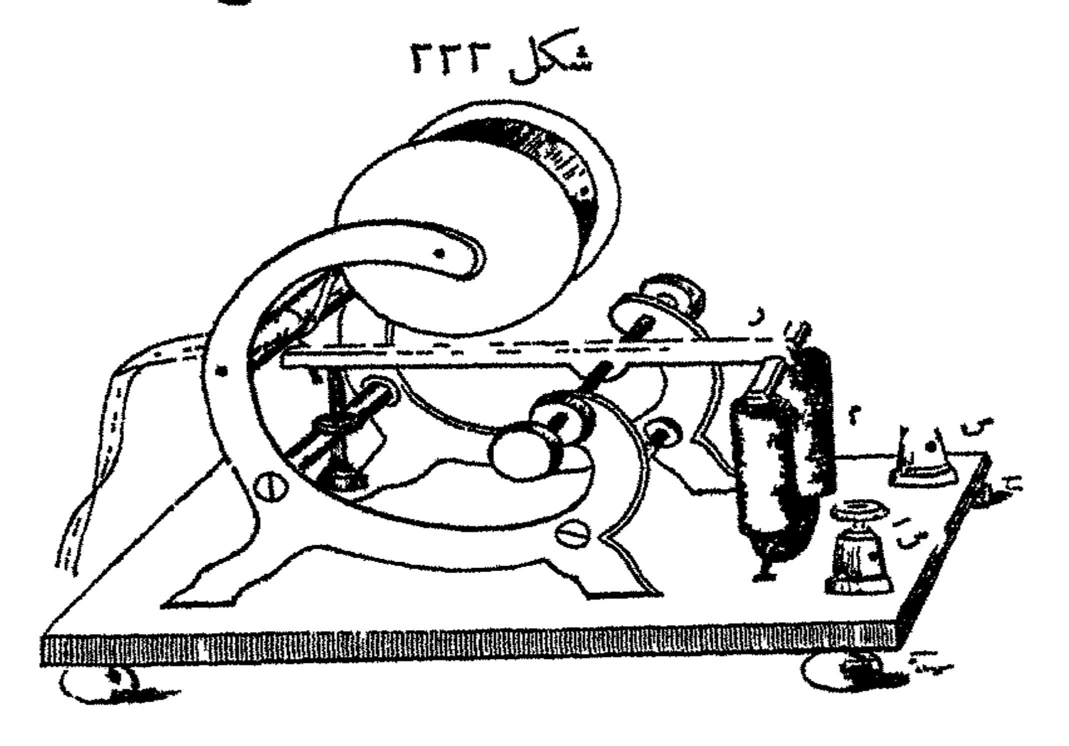

مساحة سطح كلٍّ منهما عدة اقدام مربعة مغرّزان في الارض. فاذا كُبِس على طرف المفتاح ك في بيروت مثلاً المفروض ارسال الرسالة التلغرافية منها حتى يتصل بالحديد الذي تحتهُ فالمجرى من البطارية يجري من القطبة الموجبة

ن مارًّا بالمفتاح ك الى الكلفانومتر غ ومن ثمَّ في خط الشريط ل ل الى دمشق المحل القابل الرسالة مارًّا بالكلفانومتر غَ وبالمفتاح كَ وبالقابلة مَ ومن هنا ك الى الارض مجتازًا من اللوح فَ الى ف في بيروت المحل المرسِل واخيرًا الى القطبة السالبة ت من البطارية ب حيث تتم الدائرة . فعند س محل التلغراف في بيروت م منقطعة حينئذٍ عن الدائرة الكهربائية برفع الطرف الاخر من المفتاح . وفائدة انقطاعها ان الكهربائية الموجبة تدور الى الشام وترجع الى بيروت بالطريق المشار اليهِ المقصود سيرها فيهِ لاجل ارسال الخطاب الى الشام كما سياتي لا في الطريق التي تاخذ الى م اذ لا فائدة من ذلك . اما الكلفانومتر فلزومهُ لتبيان مقدار الجاري في الدائرة الكهربائية ولمعرفة وجودها . ثم ان ترك ك لذاتهِ برجعة زنبرك فيتصل بالنتوِّ الذي كان قد انفصل عنهُ واذا كُبِس على المفتاح كَ حينئذٍ فمحل التلغراف سَ في دمشق يكون الباعث وس القابل . وطريقة ايضاح الاتصال طبق ما اوضحناهُ قبلاً ( شكل ٣٢١ ) غير ان المجرى على جهة متقابلة . ولكلٍّ من الكاتبين في المحلين علامات معينة يرقمها الراقم للدلالة على المحل المرسل اليهِ الرسالة التلغرافية وغير ذلك . وقد يصطنع جرس يدقّ عند بداية تشغيل التلغراف من محل آخر لاجل الانتباه الى قبول الرسالة

٤٢٣ طريقة رسم الحروف . ان الحروف التي ترقم بمجرى كهربائي ترقم بواسطة آلة يقال لها مكنا . واجزاؤها الجوهرية كما ترى ( شكل ٣٢٣ ). ففي بيروت مثلاً موضوعٌ مغناطيس كهربائي م ملتف عليهِ شريط نحاسي رفيعٌ طويل جدًّا وهو متصل بالشريط الموصل ل ل ( شكل ٣٢١ ) بواسطة احدى الكاسين ذات البرغي س وبشريطة تتصل بالارض بواسطة الكاس الاخرى سَ وطرف الشريطة المتصلة بالارض متصل بلوحٍ معدني مغرز في الارض كما مرَّ . فاذا كبس على المفتاح في دمشق فالمجرى يجتاز لفات

المغناطيس الكهربائي ويجذب الحافظة المتصلة بالراقم الى اسفل. واما الطرف الآخر من الراقم المسمَّر فيهِ مسمار مروس من فولاذ فيرتفع ويكبس المسمار على

شكل ٢٢٣

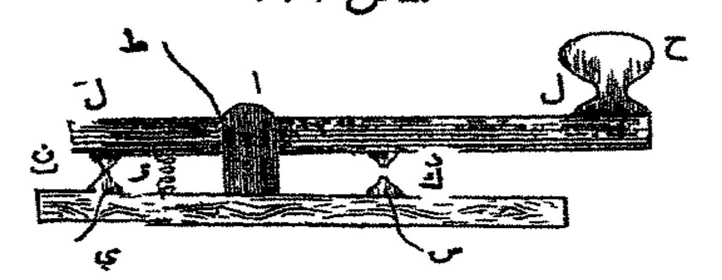


سيرٍ من ورق ينشَر عن ملفٍّ فوق ويجرُّ بواسطة زنبرك ودواليب مثل التي للساعة لم ترسم في هذا الشكل بسرعة نحو نصف عقدة في الثانية . وعند كبسهِ على الورق يخمش عليهِ علامة في بيروت . واذا رُفعت اليد عن المفتاح في دمشق حتى ينقطع المجرى فالذراع الاقصر من الراقم يخليهِ المغناطيس الكهربائي فيسقط الذراع الاطول بثقلهِ ومسمار الفولاذ يبطل ان يكبس على الورق . ثم اذا كبس على المفتاح ايضًا يرقم الراقم علامةً اخرى في بيروت وهلمَّ جرًّا وذلك يعرف عندهم بالدق فاذا اجتمع علامتان مختلفتان او اكثر يجعلان احرفًا بحسب اصطلاح اصحاب التلغراف . ثم بين الحرف والحرف يوخرون الدق لكي تبعد علامات حرف عما يليهِ لاجل تمييزهِ ومثل ذلك بين كلمة وما تليها . اما اختلاف العلامات فيتوقف على الوقتَ الذي فيهِ يبقى مسمار الراقم مرتفعًا فان ارتفع للحظة فقط ترقَم نقطة واذا ارتفع لوقتٍ اطول يُرسَم خطٌّ

عرضي* والحروف الهجائية تصنع باصطلاحهم بتركيب النقط والخطوط . واذا ارادوا ان يكتبوا كلمة ا ب من دمشق مثلاً وكانت علامة الالف نقطة وخط وعلامة الباء خط وثلث نقط يحركون اليد هنا ك على المفتاح ويجعلون اوقات الدق موافقة لرقم العلامات المذكورة فيرقم الراقم تلك الكلمة في بيروت بالمقلوب هكذا ٠٠٠ـــ ـــ٠ وهكذا يكتبون كلمات الرسالة وبعد ان تنتهي الرسالة يكتبونها ويرسلونها الى صاحبها . وبما ان حكومتنا لاترخص باشهار علامات الحروف الهجائية نعدل عن اظهارها

٤٣٤ مفتاح التلغراف . فيما مراشرنا الى المفتاح والان نتكلم عنهُ باكثر ايضاح . فهو كما ترى ( شكل ٣٢٣ ) . المخل النحاس ل لَ يتحرك على محورٍ داخل في اعلى العمود ا وعليهِ نتوان من بلاتين د و ن على الجانب الاسفل . وهذان يقرعان على قطعتي بلاتين ك وب الاولى منهما

شكل ٣٢٣




تتصل بالشريطة س والثانية بالشريطة ى وس و ى يتصلان بالموجبة والسالبة من قطبتي البطارية المرسلة . فاذا ترك المخل لذاتهِ ن وب يلتصقان بقوة الزنبرك ز . وحينما تضغط اليد على المسكة من خشب الأبنوس ح ينقطع الاتصال بين ن وب ويحصل عند د و ك . وما عدا الشريطتين المذكورتين ي وس يتصل بالمخل الشريط المستطيل ط من محل بعيد بواسطة محورهِ في ا . فحينما يكون المفتاح قابلاً كما يرى في الشكل فالمجرى من المحل المرسِل يسير على طريق ط ا لَ ن ب ى ثم يمرّ على المكنا لاجل تدوين الرسالة كما مرَّ ومن ثم الى الارض التي تتصل بها القطبة السالبة من البطارية في المحل المذكور واذا ضُغِط على ح فالمفتاح يكون مرسلاً ويبعث المجرى الكهربائي في طريق

س ك د ا ط الى المحل البعيد. فالذي يُريد ارسال رسالة من محل تلغراف الى محل آخر يدق على مفتاحهِ والآخر في المحل الآخر يكتب الرسالة ويشهرها ومثل ذلك اذا اراد الثاني ان يرسل جوابًا او رسالةً

٤٣٥ كون الارض تصلح لاتمام الدائرة الكهربائية للتلغراف. انهُ في بداية اختراع التلغراف قد ظن انهُ لا بد ان يعمل شريط اخر غير ل ل (شكل ٣٣١) يرجع من المغناطيس الكهربائي في التلغراف البعيد الى القطبة السالبة في التلغراف المحلي لكي تتم الدائرة. ولكنهم بعد قليل لحظوا ان الارض فضلاً عن كونها لا تكلف شيئًا هي اصلح للايصال لاتمام دائرة لهذه الغاية. فيغرِزون في ارض تلغراف المحل لوحًا من معدن تتصل بهِ القطبة السالبة من البطارية وطرف واحد من لفة المغناطيس الكهربائي ولوحًا اخر في التلغراف البعيد كذلك فتتم الدائرة الكهربائية لبطارية المحل الواحد والاخر بواسطة الارض كما يتضح من (شكل ٣٣١). اما اللوحان فيصنعان غالبًا من نحاس احمر ويقتضي ان تكون سعة كل منهما فوق عشرين قدمًا مربعًا. ويقتضي ان يغرّزا في الارض الى عمق بحيث لا تجف فيهِ الارض ابدًا

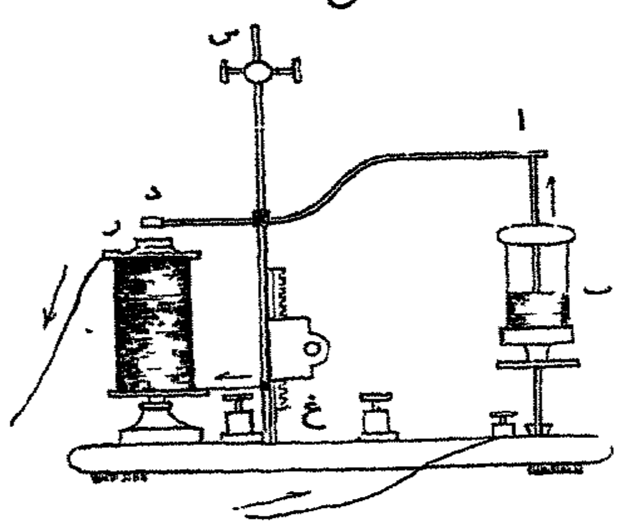
# الفصل الثامن

## في اتمام الحركة الميكانيكية بواسطة المغناطيس الكهربائي

٤٣٦ قد اصطُنع آلات شتى مختلفة لاجل اتمام حركة ميكانيكية بالكهربائية المغناطيسية نكتفي بذكر واحدة منها. على انهُ لم يصنع منها ما تفوق قوتهُ ثمانية او عشرة حصن مع انها لا تقف على هذا الحد. لانهُ اذ كان ايجاد

قوة من المجرى الكهربائي تحرك آلة يقتضي نحو اربعين او خمسين ضعف ما يكلفهُ ايجاد قوة بآلة بخارية قلما تستعمل الات المغناطيس الكهربائي . وانما لاجل اعمال تقتضي حركة سريعة وقوة قليلة قد لوحظ ان الة كهربائية انسب من الة بخارية . وهذا الشكل يوضح احدى الآلات الكهربائية المستعملة لاجل اتمام حركة ميكانيكية . فانها مولفة من قضيب معدني ا د مسمر على عمود معدني

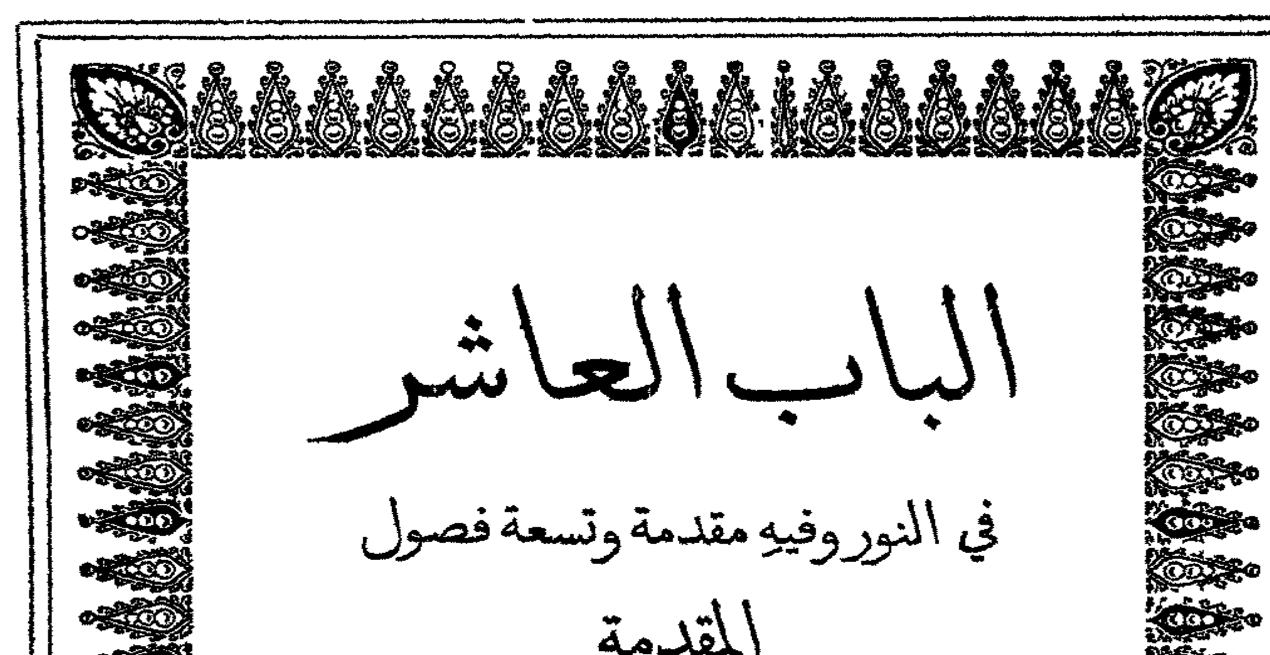
شكل ٢٣٤




س غ يدور على مسمارٍ بسهولة في اسفلهِ زنبرك . في طرف واحد من القضيب قطعة من حديد لين د وفي الطرف الاخر قضيب حديد مغموس في الكاس ب المتضمن جانبًا من الزيبق . وتحت القطعة الحديد د المغناطيس الكهربائي ر . واحد طرفي شريط لفة المغناطيس متصل بالقطبة الواحدة من بطارية بنصن . واما القطبة الاخرى من هذه البطارية فمتصلة بكاس الزيبق ب . والطرف الاخر من اللفة متصل بالقضيب المعدني بواسطة العمود س غ فان غمس القضيب الحديد بالزيبق تتم دائرة بطارية بنصن وتنقطع حينما يكون خارجًا . والزيبق يستحسن ان يغطى بالكحول لاجل عدم تبديد الكهربائية لكونها غير موصل . فحينما يراد تشغيل هذه الآلة فلأن القضيب الحديد موضوع بحيث يهدا طرفهُ فوق وجه الزيبق يكبس على القضيب ا د باليد

لاجل تنزيل القضيب الحديد الى الزيبق . ولانه بذلك تتم الدائرة يتمغنط المغناطيس الكهربائي وقطعة الحديد على طرف القضيب اذ تنجذب الى اسفل فتلتصق بهِ . وبذلك يرتفع الطرف الآخر من القضيب المذكور والقضيب من الحديد يخرج من الزيبق فتنقطع الدائرة ويصبح المغناطيس الكهربائي غير ممغنط . فمرونة زنبرك العمود حينئذٍ ترجع القضيب المعدني وبالاستمرار يرجع القضيب الحديد الى الزيبق فترجع الدائرة . ثم تتكرر الحركة كما مرّ وهكذا تدوم ما دامت البطارية مشتغلة والمجرى جاريًا . ويوجد انواع اخر من الالات بها تتم حركة ميكانيكية بالكهربائية لاحاجة لذكرها جارية على هذا المبدا وهو انهُ باتصال الدائرة الكهربائية وانقطاعها يتمغنط حديد اللفة وتزول مغناطيسيتهُ فيجذب الحديد ويتركهُ ويحرك الآلة





# الباب العاشر

## في النور وفيهِ مقدمة وتسعة فصول

## المقدمة

### في النور وبعض موضوعات تتعلق بهِ

٤٣٧ تحديد النور وماهيتهُ. النور هو الفاعل الطبيعي الذي بهِ يشعر عضو البصر بالاجسام المرئية وفي ماهيتهِ قولان

احدهما انهُ مادة لطيفة مؤلفة من ذرّات دقيقة جدًّا تنتشر من الاجسام المنيرة الى كل الجهات على خطوط مستقيمة بسرعة فائقة جدًّا . وانهُ بواسطة تلك المادة المنعكسة عن الاجسام الى العين تدرك آلة البصر المرئيات

والثاني انهُ حاسية يحدثها نقر تموج مادة لطيفة جدًّا مرنة مالئة الفضاء يقال لها ايثير على عصب البصر. وهذا التموج انما يصدر عن الاجسام المنيرة التي لها قوة على اصدارهِ وينبعث الى

عصب العين او يقع على الاجسام المرئية وينعكس عنها اليهِ فيحدث فيهِ الحاسية بالنور وبالوان المواد المرئية التي ياتي او ينعكس عنها كالاصفر والاحمر وغيرها كما ان تموُّج الهواء الصادر عن المواد المصوتة يحدث الحاسية بالصوت في عصب السمع وبشكل الصوت الآتي عن المواد كالرنَّة والطقطقة وغيرها. وهذا الشعور بالوان المواد المرئية يعرف بالبصر فالنور واللون في البصريَّات يشبهان الصوت وشكلهُ في السمعيات غير ان سرعة تموُّج النور نحو ١٧٥ ضعف تموُّج الهواء

اما القول الاول فمذهب العلاَّمة اسحق نيوتون وطائفة من الطبيعيين. واما الثاني فمذهب هويجنس وجمهور الطبيعيين وهو المعوَّل عليهِ عندهم الآن وسياتي الكلام على اثبات كونهِ هو المرجح على الأوَّل . اما القواعد الرياضية الآتية التي سنوضحها في النور فتجري على القول الاوَّل اذ يُعتَبر فيها النور مادة مضيئة لكونهِ اقدم وهي مبنية قديمًا على الاقدم

٤٣٨ تسمية الاجسام باعتبار ملابستها للنور. جميع الاجسام اما منيرة او مظلمة واما شفافة او شبيهة بالشفافة . اما المنيرة فهي التي يصدر عنها النور كالشمس والسراج والاجسام المشتعلة وغير ذلك فيكون نورها ذاتيًّا غير مكتسب. واما المظلمة فهي ما لا يصدر عنها نور ذاتي بل تكتسب نورها من مجاورتها لجسم ذي نورٍ ذاتيّ بوقوعهِ عليها وانعكاسهِ عنها ولا ينفذ فيها النور فلا يُرى

ما تحجز هي دونهُ من الاشباح وذلك كالحجارة والخشب وبعض المعادن. واما الشفافة فهي التي ينفذ فيها كثيرٌ من النور وتُرى بنفوذ النور فيها صورة الاشباح التي تحجز هي دونها كالزجاج الصقيل والهواء والماء الصافي. واما الشبيهة بالشفافة فهي ما ينفذ فيها قليل من النور فقط فلا تظهر صورة الاشباح التي تحجز هي دونها جليًّا كالزجاج غير الصقيل والوَرَق المزيَّت والماء المكدَّر. ويوافقهُ قول ابي العلاء المعري

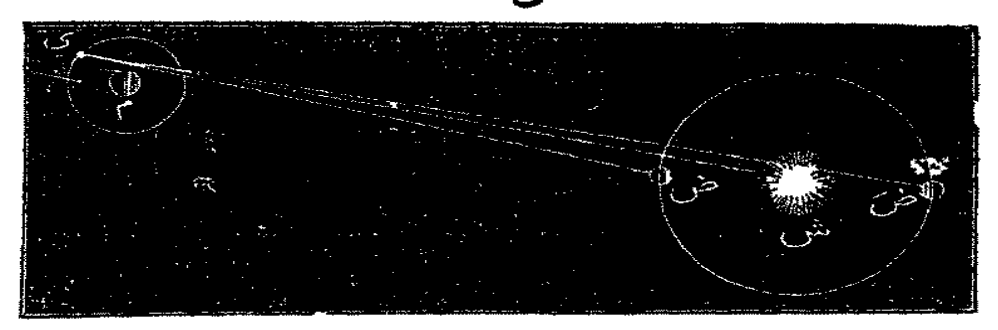
والخل كالماء يُبدي لي ضمائرهُ مع الصفاء ويخفيها مع الكدَرِ

٤٣٩ شعاع النور وسرعتهُ . شُعاع النور بالضم هو الذي تراهُ خطوطاً من النور مقبلةً عليك حينما تقابل الجسم المنير وهو اسم جمع واحدتهُ شُعاعة وجمعها اشعَّة اوشُعُع اوشِعاع بالكسر. واذا اجتمع عدة شعاع منهُ متوازية سُميت حبلاً من النور وشعاع مجتمعة الى نقطةٍ سُميت قلمًا او مخروطاً وتسمى تلك النقطة بالبورة. وهذه الشعاع تنتشر من الجسم المنير الى كل الجهات في خطوط مستقيمة وذلك يتضح من انهُ اذا توسَّط جسمٌ مظلم بين العين وجسم منير لا يبقى منظورًا من نورهِ ما حال الجسم المظلم دونهُ . وكذلك اذا دخل حبلٌ من شعاع الشمس الى غرفة مظلمة يرى مستقيمًا. اما سرعة سيرهِ فهي ١٩٢٠٠٠ ميل في كل ثانية. وقد بيَّن

ذلك العلاّمة رومر المنجم الدانماركي سنة ١٦٧٨ من مراقبات متوالية لخسوفات اول أقمار المشتري اي الاقرب اليهِ

ويتضح ذلك من النظر الى (شكل ٢٢٥). فان ش تدل على الشمس وض الارض وم المشتري وي اوّل اقمارهِ والجزء المظلم وراء المشتري هو ظلّهُ الذي ترميهِ الشمس. وقد عُرِف بالحساب ان اوّل اقمار المشتري يدور حول ذلك السيار مرّةً في ٤٢ ساعة و٢٨ دقيقة و٣٦ ثانية وانهُ بدخولهِ في ظل المشتري يخسف في كل دورة. فقد لاحظ رومر انهُ اذ كانت الارض تسير من ض المنزل الاقرب من المشتري الى نحو ضَ المنزل الابعد كان زمان خسوفات القمر المذكور المتوالية يطول بالتدريج كما انهُ بالرجوع من ضَ الى

شكل ٢٢٥

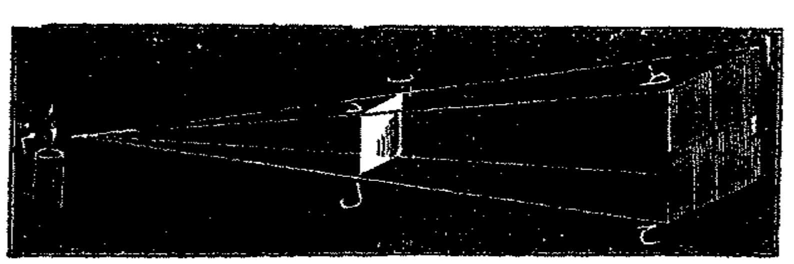



ض كان يتناقص زمان الخسوفات كذلك. فكانت كل الزيادة في الزمان بالمرور من ض الى ضَ ١٦½ دقيقة تقريبًا وكل التناقص في النصف الباقي في حركة الارض ١٦½ دقيقة كذلك. فافتكر المعلم المذكور انهُ لحصول ذلك لا بدَّ من هذا التعليل وهو ان الارض على الحال الاول كانت تبتعد عن المشتري فاقتضى للنور ان يسير ابعد فابعد عند كل خسوف لكي يصل الى المراقب وعلى الحال الثاني بالعكس. فاستنتج من ذلك ان النور قد اقتضى لهُ ١٦½ دقيقة لكي يجتاز قطر دائرة الارض حول الشمس وذلك بموجب علم الفلك يساوي نحو ١٩٠٠٠٨٠٠٠ ميل فاذا قسمنا هذا العدد على الثواني في

الوقت المذكور اي ٠٩٩٠ ثانية يخرج ١٩٢٠٠٠ ميل. وقد امتحِنَ هذا الامر وتأكَّد بطرقٍ أُخَر لا حاجة الى ذكرها

٤٤٠ كثافة النور. ان كثافة النور الآتي من جسمٍ منير تتغيَّر بالقلب كمربع البعد

شكل ٢٣٦



ليكن م مصباحًا وب ل جسمًا سطحهُ المقابل المصباح مستطيل وليقع ظلّهُ على سطحٍ يوازيهِ مثل ا ح. فلا يخفى ان م ت ح هرَمٌ قد قطع بالسطح ب ل لكون الظل واقعًا ضمن السطوح المارَّة على حدود ب ل وقد فُرِض موازيًا لقاعدتهِ ا ح. فيكون ا ح : ب ل :: ا ط٢ : ب د٢ :: م ا٢ : م ب٢ فاذًا نسبة ا ح : ب ل :: م ا٢ : م ب٢. فاذا رُفع الجسم ب ل فواضحٌ انهُ يقع على ا ح النور الذي كان واقعًا عليهِ لكونهِ داخل حدود ظلّهِ والامر ظاهر ان كثافة هذه الكمية من النور تتغيَّر بالقلب كاتساع السطح اي ان ا ح : ب ل :: كثافة النور على ب ل : كثافتهِ على ا ح وقد بيَّنا ان ا ح : ب ل :: م ا٢ : م ب٢ فاذًا كثافة النور على السطح ب ل الى كثافتهِ على السطح ا ح :: م ا٢ : م ب٢ اي كثافة النور تتغير بالقلب كمربع البعد. وذلك يطابق البرهان على ان قوة الجاذبية تتغير بالقلب كمربع البعد فراجعهُ

وذلك يتاكد بهذه التجربة وهي خذ اربعة مصابيح زيت ذات مقدارٍ واحد من النور واجمعها بعضها مع بعض لكي تُحسَب كنور مصباحٍ واحد. وعلى

بعدٍ مناسب ضع طلحيّةً من الورق واجعل جسمًا مظلمًا يتوسط بين المصابيح والطلحية ليرمي ظلهُ على الورق. ثم خذ مصباحًا خامسًا وضعهُ بين المصابيح والجسم حيث يمس ظل الجسم الواقع منهُ على الورق ظلهُ الواقع من الاربعة المصابيح بدون ان يقع عليهِ وعلى بعدٍ حيثُ يظهر الظلان باشراقٍ واحد. فترى حينئذٍ ان بعد الاربعة المصابيح عن الورق مضاعف بعد المصباح الواحد. وهكذا اذا اخذنا تسعة مصابيح يقتضي ان يكون بعدها عن الورق ثلاثة اضعاف بعد مصباح واحد لكي يكون الظلان من سواد واحد وهلمّ جرًّا. ولما كان الجسم المظلم يحجز بظلهِ المرمي من الاربعة المصابيح نفس المقدار من النور الذي يحجزهُ بظلهِ المرمي من المصباح الواحد لظهور الظلين بلون واحد اذ يكون بعد الاربعة مضاعف بعد الواحد تكون كثافة نور مصباح واحد اربعة اضعاف كثافة نور مصباح آخر على مضاعف بعدهِ. ومن ذلك يتاكد ما مر وهو ان كثافة النور تتغيّر بالقلب كمربع بعد الجسم المنير وبهذه الطريقة يمكنا ان نقيس انارة جسم منير على آخر. لانهُ اذا وضعنا مصباحين يختلفان في قوة الانارة على بعدين من الورق بحيث يكون لون ظليهما واحدًا تكون نسبة مربع بعد احدهما الى مربع بعد الآخر ككثافة الثاني الى كثافة الاوَّل. واذا فرض كثافة نور احدهما واحدةً وقيس البعد ينتج لنا من النسبة كثافة الآخر او قوة انارتهِ بالنسبة اليهِ. مثالهُ اذا كان لظل قضيب معدني موضوع في نور مصباح زيت على بعد ٣ اقدام من سطح ابيض وقع عليهِ الظل لون ظل ذلك القضيب في نور لهيب من الغاز على بعد ١٢ قدمًا منهُ تكون قوة انارة الغاز ١٦ مرة انارة الزيت لان ٣^٢ : ١٢^٢ :: ١ : ك — ١٦

٤٤١ امتصاص النور. قد تقدم ان الاجسام الشفَّافة هي ما ينفذ فيها النور. والآن نقول انهُ لا يوجد جسم تام الشفافية

ينفذ فيهِ النور كلهُ بدون ان يفقد منهُ شيءٌ بل جميع الاجسام الشفافة تمتص جانبًا من النور النافذ فيها غير ان بعضها يمتص منهُ اكثر من البعض الآخر. وتختلف الكمية الممتصة من النور ايضًا في مادة واحدة شفافة باختلاف سمك تلك المادة. فاذا نفذ النور في جسمٍ شفَّاف سميك جدًّا يمتص كمية وافرة منهُ حتى يحدث غالبًا ان النور النافذ ليس بذي كثافة كافية لحصول حاسية البصر. وقد عرف ان نور الشمس يمتص الجلد جانبًا منهُ بنفوذهِ فيهِ الى الارض. وذلك يتبين من ازدياد لامعية النجوم بالصعود الى الاماكن العليا كقمم الجبال وكون الاشباح في اعالي الجلَد تُرى اجلى مما تُرى قرب الارض وجلاء البصر في تلك الاعالي فائق جدًّا حتى لا يكاد يميِّز النظر بين الابعاد. وقد حسب انهُ لو كان علو الجلد ٧٠٠ ميل لامتص كل نور الشمس . واما الاجسام المظلمة فتمتص كل ما لم ينعكس من النور عنها اذ يقع عليها من الجسم المنير. وسياتي الكلام على انعكاس النور

## ٤٤٣ الظل والظُلَيل.

شكل ٢٣٧

اذا صادم نورٌ صادر من نقطة منيرة مثل ا جسمًا مظلمًا مثل د كما في الشكل فلكون النور لا يخترق الجسم المظلم يحجزهُ عن مرورهِ

في الفسحة الواقعة وراءهُ بين الخطوط المستقيمة من النقط المنيرة المماسة دائر ذلك الجسم فيُصطنَع من ذلك ظل. فان كان الشيح المظلم كرة فالظل ت ث ج س هو مخروط ناقص

ان جميع الاجسام المنيرة ذات جرم واتساع فهي مولفة من عدد غفير من نقط منيرة. وكل نقطة منيرة هي بورة قلم من شعاع منيرة مستقلة ولكل قلم ظل مستقل. لتدل ا ب على قطع

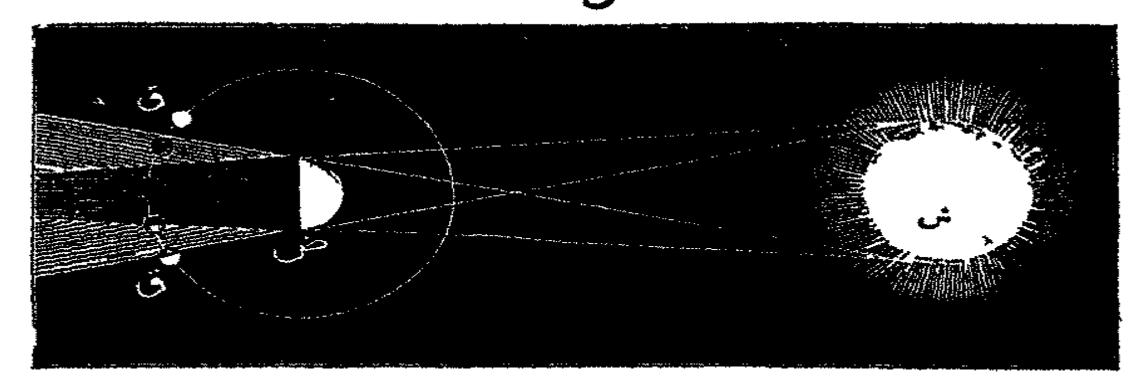
شكل ٢٣٨

جسم منير وت ث على قطع شيح مظلم. فمن كل نقطة من ا ب ينبثق قلم من اشعة نور والقلم المنبثق من النقطة ا يعيق مسيره الشيح ت ث والشعتان الملامستان طرفي الشيح من نقطة ا تسيران في جهة از اد اي ان النور الصادر من نقطة ا يجزهُ الجسم المظلم عن المسير في الفسحة بين الخطين المستقيمين ت ذ وث ر. وهكذا النور المنبثق من النقطة ب يعاق عن المسير في الفسحة بين الخطين ت د وث ر وكل النور الصادر من النقط بين النقطتين ا وب يجز عن المرور في الفسحة بين الخطين ت ذ وث ر اذ يدخل بعضهُ في الفسحتين بين الخطين ت د وث ذ وبين الخطين ث ر وث ز

الفسحة بين الخطين ت ذ و ث ر هي الظل كامر والفسحتان بين ت د و ت ذ وبين ث ر و ث ز المحجوز عنهما بعض نور الجسم المنير يقال لهما الظُلَيل وذلك يطابق الظليل السمعي المذكور (رقم ٣٧٦) وظلام الظُليل يزداد تدريجًا بالانتقال من حديهِ الى نحو حدي الظل حيث يصير الظلام تامًّا

والظل والظُلَيل يحدثان من وقوع نور الشمس على الارض . ولذلك عند ما يمر بهما القمر لما تكون الارض بينهُ وبين الشمس يخسف. وعند دخولهِ في الظليل اولًا لا يرى ظلام الخسوف حالكًا كما يرى اذا دخل الظل المظلم وذلك يتضح من النظر الى (شكل ٢٣٩). لنفرض ش الشمس وض الارض وق القمر دائرًا حول الارض كما هو مقرَّر في علم الفلك . فشعاع

شكل ٢٣٩




الشمس ترمي من الارض ظلاً حالكًا مخروطي الشكل وظليلاً حولهُ اقل ظلامًا كما ترى. فعند ما يدخل القمر في الظليل لا يرى الخسوف جليًا بل يتغبش قليلاً ولكن يخسف جليًا عند دخولهِ في مخروط الظل ويقال ان خسوفهُ كلي اذا دخل كلهُ في المخروط بحيث تكون سعتهُ كافية لتحيط بهِ وجزئي اذا دخل جزؤُهُ وحلقيٌّ اذا كان مركزهُ في محورهِ بحيث لا يحيطهُ . وذلك يتوقف على بعدهِ عن الارض وميلهِ عن الظل فان كان قريبًا وطريقهُ قرب

محور الظل حتى يحيطه يخسف كليًّا او بعيدًا بحيث لا يحيطه مخروط الظل ومروره في محور الظل فحلقيًّا لانه يبان حينئذٍ حلقة او كان دخوله في جانب المخروط بعيدًا او قريبًا فجزئيًّا ولا ينخسف مطلقًا ما لم يمس الظل . ومثل ذلك اذا مرّت الارض في ظل وظليل القمر اللذان ترميهما الشمس على الارض عند ما يتوسط القمر بينهما فان الارض حينئذ تجتاز في الظليل والظل للقمر فيختفي بهما نور الشمس وتنكسف لنا جزئيًّا او كليًّا او حلقيًّا . واما الوصول الى معرفة طول ظل الارض او ظل القمر بموجب حساب المثلثات اذا عرف قطرا الشمس وقطر ايهما يراد معرفة طول ظله وبعدهُ عنها فسهلٌ . ولكون ذلك من متعلقات علم الفلك نعدل عن ذكرهِ

# الفصل الاول

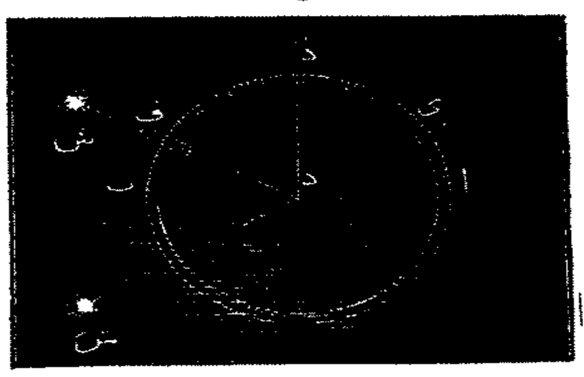
## في انعكاس النور

٤٤٣ انعكاس النور هو اندفاعهُ راجعًا عن جسم بعد ان يقع عليهِ من الجسم المنير. وبعض الاجسام وهي الشفَّافة يخترقها النور كما مرّ فلا ينعكس عنها الاَّ قليلاً جدًّا وبعضها وهي المظلمة يمتص جانبًا من النور وما بقي ينعكس عنها وكل ما كان منها اتمّ صقالاً كان انعكاس النور عنهُ اتم كالمرايا والسطوح الصقيلة من المعادن وغيرها

اذا انعكس النور عن سطحٍ صقيل فزاوية الوقوع تساوي زاوية الانعكاس وكلا الزاويتين يكونان في سطحٍ واحد. وهذه الحقيقة قد برهناها ببرهانٍ هندسي في الكلام على المصادمة (رقم ١٠١) والآن نشير الى الطريقة التي بها نتأكد بالتجربة

لتوضع دائرة متسامتة مقسومة الى درجات في قصعةٍ من الزيبق بحيث يقع مركزها د في وجه السائل الافقي ا ب ( شكل ٣٢٠ ) وليكن ذ د عمودًا

شكل ٣٢٠



من المركز عليهِ وليصنع على الدائرة انبوبتان ي و ف تدوران كدوران القطر. فان اتجهت ف الى الشمس ش يلاحظ ان الشعاعة المنعكسة لا تمر في الانبوبة ي فيرى الناظر فيها الشمس ما لم تكن زاوية ف د ذ التي تقاس على الدائرة ذات الدرجات متساوية لزاوية ي د ذ وسطح الدائرة يمر في الشمس . والناظر يرى الشمس حينئذٍ على جهة د شَ . ويقال لزاوية ف س د زاوية الوقوع ولزاوية ي س د زاوية الانعكاس . فينتج ان سطح الانعكاس ذ د ي وسطح الوقوع ذ د ف على استواءٍ واحد وانهُ اذا وقعت شعاع متوازية على سطح يعكس النور تكون متوازية بعد الانعكاس

٤٤٤ اذا وقع قلم شعاع منتشر من نقطةٍ منيرة على سطح مرْآة

فالشعاع المنعكسة يظهر انها صادرة من نقطةٍ خلف المرآة بعدها عنها بعد بورة الوقوع امامها

ان وقع قلم شعاع من البورة ا (شكل ٣٢١) على ى ف جزء من سطح المرآة د ذ تظهر البورة خلف المرآة عند ب بحيث يكون البعد ان العمودیان ب د و ا د متساويين لان كلاً من الشعاع ا ى ا ف الخ زاوية انعكاسها ح ى ت الخ يساوي زاوية وقوعها ح ى ا وبالنتيجة تكون متمتاها ت ى ذ ا ى د متساويتين. ارسم ا د عمودًا على د ذ واخرجهُ الى ب حتى يقطع الشعة المنعكسة ت ى المخرجة الى الوراء. فالزاوية ا ى د تساوي ت ى ذ التي تساوي المتقابلة لها ب ى د . وايضًا الزاوية القائمة ا د ى تساوي ب د ى و ى د مشترك بين المثلثين د ى ب د ى ا فاذًا ا ى = ى ب و ا د = د ب . ولما كانت كل شعاعة خارجة من ا و واقعة على المرآة د ذ يصدق عليها هذا البرهان فواضح ان القلم المنعكس يظهر اتيًا من النقطة ب

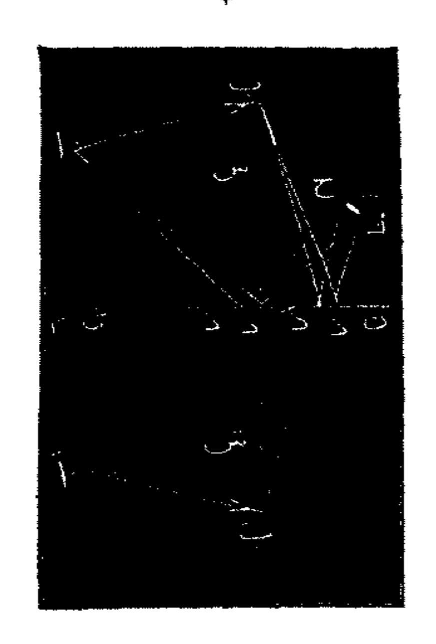
شكل ٣٢١

٤٤٥ اذا وُضِع شبح امام مرآة مستوية فصورتهُ تظهر خلف المرآة على بعدٍ عنها يساوي بعدهُ نفسهُ عنها لان الاشعة الواردة من الشبح تنتشر بعد الانعكاس من نقط متقابلة خلف المرآة على نفس بعدها

وذلك يتبين من (شكل ٣٢٢) . لتكن م ن مراة مستوية و ا ب شبحًا موضوعًا امامها . وليكن وضع الشبح بحيث الشعاع المنعكسة تدخل العين عند ح وك . ومن ا و ب ليقع العمودان ا آ ب بَ فالشعتان ا ذ ا د

المنتشرتان من ا ينعكسان في خطي ذ ح د ك كانهما آتيان من النقطة اَ حيث اَ ي = ا ي كما مر ولذلك ترى النقطة ا عند اَ خلف المرآة على بعد يساوي بعد ا عنها . وهكذا يبرهن ان النقطة ب من الشبح تظهر عند بَ حيث د ب = د بَ.

شكل ٣٢٣



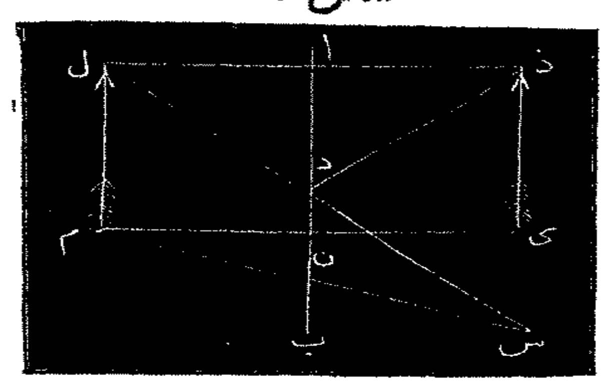
وعلى هذا الاسلوب يتبين ان كل نقط النوربين ا و ب تكون بوارتها في نقط الخط اَ بَ المؤلف من اطراف خطوط مرسومة من نقط ا ب عمودية على المرآة ومتنصفة بها ثم لان د ب = د بَ وآد بَ = ب د ك = ا د ب و د اَ = د ا يكون اَ بَ د = ا ب د و ا ب = اَ بَ اي ان جرم الصورة = جرم الشبح . من ا و اَ ارسم العمودين ا س اَ ش فالزاوية ب ا س = بَ اَ ش اي الشبح والصورة على ميلٍ متساوٍ من المرآة . ولذلك صور الاشباح العمودية على الافق التي ترى في مرآة مستوية افقية او في حوضٍ او بحيرة تظهر للواقف بجانبها مقلوبةً اذ تكون النقطة العليا من الشبح السفلى من الصورة . واذا كانت مرآة مستوية مائلة على الافق على زاوية ٤٥° فاذا كان امامها شبح متوازٍ للافق يظهر منتصباً والاشباح العمودية عليه تظهر افقية . لانهُ لما كان للصورة الميل على المرآة الذي للشبح نفسهِ فاذا كانت زاوية الميل التي يصنعها الشبح ٤٥° فلا بد ان تكون التي تصنعها الصورة ٤٥° ايضاً وكلاهما معاً يساويان ٩٠°. واذا كان شبح على موازاة مرآة تظهر صورتهُ خلفها متوازية ايضاً غير مقلوبة على بعد يساوي بعدهُ عنها . ولذلك اذا اريد معرفة سمك زجاجة مرآة يجعل جسمٌ ما يلامسها كريال او ابرة او غير ذلك فبعد الصورة خلفها يرينا سمك الزجاج. وذلك لان النور ينعكس عن الزيبق الملتصق بقفا الزجاج فاذا لامس

الزيبال وجه الزجاج من امام يكون بعدهُ عن الزيبق بمقدار سمك الزجاج والصورة تظهر خلف الزيبق على بعد يساوي بعد الزيبال امامهُ فيكون بعد الصورة خلف الزيبق يساوي سمك الزجاج . ثم ان الاشباح التي توازي المرايا يصير يمينها يسارها وبالعكس . فاذا قابل شخصٌ مرآة مستوية فصورة يدهِ اليمنى تكون على يسار صورتهِ واليسرى عن يمينها فيكون قد انعكس الجانبان . ومثل ذلك اذا امتحنا كتاباً امام مرآة وكانت طريقة الكتابة من اليمين الى اليسار كالعربية او من اليسار الى اليمين كالافرنجية ترى الكتابة في المرآة منعكسة اذ تظهر من اليسار الى اليمين وبالعكس

٤٤٦ اذا كان شبح موازياً لمرآة مستوية فطول او عرض ذلك الجزء من المرآة التي تظهر عليهِ الصورة نسبتهُ الى طول او عرض الشبح كنسبة اي شعاعةٍ منعكسة الى مجموع الاثنتين الواقعة والمنعكسة

اذا كان الشبح ذ ى موازياً للمراة ا ب والصورة ل م تراها العين من عند س . فان د ن طول ذلك الجزء من المرآة التي تاخذهُ الصورة يقابل

شكل ٣٢٣



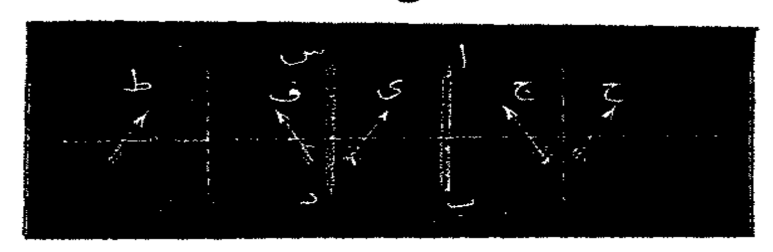

زاوية ل س م التي يظهر امامها الشبح فطول الصورة ل م يساوي طول الشبح ذ ي كما مرَّ . ولان د ن يوازي ل م تكون نسبة د ن : ل م :: س د : س ل

ولكن س د هي الشعة المنعكسة وس ل تساوي مجموع الشعتين الواقعة والمنعكسة . ولذلك الشبح الذي لا يرى كلهُ اذا كانت العين على بعد معلوم من المرآة يصير مرئيًّا بتقريب العين اليها لانهُ كما تنقص نسبة الشعة المنعكسة الى مجموع الواقعة والمنعكسة ينقص ذلك الجزء من المرآة الذي يقتضي ان يحتوي كل الصورة فاذا راى ناظر كل صورتهِ في مرآةٍ مستوية موضوعة على موازاتهِ فطول المرآة لابد ان يكون بقدر نصف طولهِ . لان شعتي الوقوع والانعكاس تكونان حينئذٍ متساويتين وبالنتيجة تكون الثانية تساوي نصف مجموع الاثنتين ولذلك المرآة تكون نصف طول الشبح

٤٤٧ اذا وُضع شبح بين مرآتين مستويتين متوازيتين يحصل صفٌ مستطيل من الصور خلف ايتهما يتجه النظر اليها جميعها واقعة في الخط المستقيم المرسوم من الشبح عموديًّا على المرآة

لتكن ا ب وس د مرآتين متوازيتين وي شبحًا موضوعًا بينهما . فصورة ي تكون عند ف على بعدٍ خلف س د كبعد ي امامها اذا اتجه النظر اليها . وصورة

شكل ٣٢٤




اخرى ج على بعد خلف ا ب كبعد ى امامها كذلك وصورة ف تكون عند ح على بعدٍ خلف المرآة ا ب كبعد ف امامها كذلك . وصورة ح تكون خلف س د عند ط كذلك الخ . فيحصل صف غير متناهٍ من الصور كلها واقعة على الخط المستقيم المخرج الذي يمر بالشبح والصورة ي وف . ويعلل عن ذلك ان الجسم ى يظهر بموجب ما مرّ للناظر الى ا ب خلفها في ج على بعدهِ امامها ويرى منهُ

الوجه المقابل اب ثم تبان صورة المرآة س د للناظر المذكور بوقوع شعاعها على اب وانعكاسها اليه خلف اب بين ج و ح . وبوقوع الشعاع من وجه الجسم ى المقابل المرآة س د عليها وانعكاسها عنه الى اب ثم الى عين الناظر تظهر صورة ى في ح خلف صورة س د على بعد ج امامها . ثم بوقوع شعاع اب على س د وانعكاسها ايضا الى اب ثم الى العين تظهر صورة اب خلف ح ويظهر ى خلفها على بعد ح امامها . ثم تظهر صورة س د ثم صورة اب وصورة ى خلف كلّ منها وهلم جرًّا الى ان يظهر صف من المرايا والصور تمتد الى ما شاء الله ويراهُ الناظر ممتدًّا الى نهاية النظر . والمرآتان يظهر كل منهما في الصف بعد الاخرى والشبح بينهما تارةً يُرى وجههُ وتارةً قفاهُ في الصف بالتتابع . وعلى هذا المبدا من اراد ان يرى قفا راسهِ ونقرتهُ يضع مرآةً خلفهُ واخرى امامهُ فيرى في الخلفية التي تظهر في الامامية صورة ذلك وعليهِ قول الشاعر

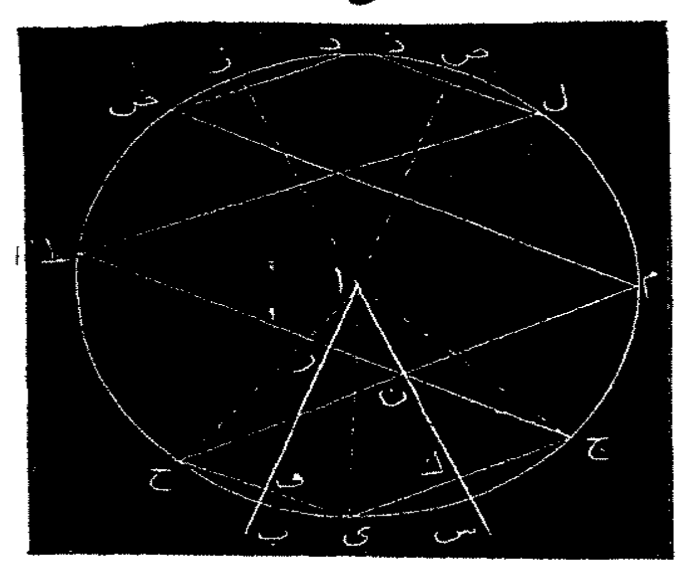
أقرنْ برايك رايَ غيرك واستشرْ فالحق لا يخفى على اثنينِ
فالمرء مرآةٌ تريهِ وجههُ ويرى قفاهُ بجمع مرآتينِ

ولا يخفى مما مرّ ان تكرار صور المرآتين والشبح ناتج عن تكرار الانعكاس لان الانعكاس مرةً من ايّ كان منها يُرِى صورة واحدة منهُ والانعكاس مرتين يري صورتين وهلمّ جرًّا . ولا يخفى انهُ من كل نقطة من جسمٍ ينتشر حزمة من الاشعة بعضها ينعكس للعين مرةً وبعضها مرتين الى ما لا نهاية فتامل

٤٤٧ اذا وضع شبح بين مرآتين مستويتين احداهما مائلة على الاخرى اي غير متوازية لها فالصور التي تحصل مصطفةً كما مرّ تقع في محيط دائرة مركزها في تقاطع السطحين ونصف قطرها بعد الشبح من تلك النقطة

ليكن ا ب ا س ( شكل ٣٢٥ ) سطحين مستويين صقيلين ميل احدهما على الآخر زاوية ب ا س وي شيئًا موضوعًا بينهما . ارسم ي ف عمودًا على ا ب واخرجهُ الى غ واجعل ف غ = ي ف فالشعاع التي تنتشر من ي وتقع على ا ب تنتشر بعد الانعكاس من ح فتكون ح صورة ي . من ح ارسم ح ن عمودًا على ا س واخرجهُ الى م جاعلاً ن م = ح ن فتكون م الصورة الثانية للجسم ي الخ . ايضًا ارسم ي ك ج عمودًا على ا س واجعل ك ج = ك ي وكذلك ارسم ج ر ط عمودًا على ا ب واجعل ر ط = ر ج الخ فالصور المتوالية الحاصلة مبتدئيًا من ح خلف ا ب هي ح م ض د . والتي تبتدي من ج خلف ا س هي ج ط ل ذ . ثم لان ي ف يساوي ف ح و ا ف مشترك بين المثلثين ا ف ح ا ف ي

شكل ٣٢٥



والزاويتان عند ف قائمتان يكون اح = اي . وعلى الاسلوب المذكور يبين ان اج او ام يساوي ا ي وبالضرورة تكون النقط ح ج ط م في محيط دائرة مركزها ا ونصف قطرها ا ي

ان كانت زاوية ب ا س متناهية فعدد الصور محدود لانهُ لما كان ب ا و س ا قد اخرجا الى ص و ز فالشعاع المنتشرة من النقطة ذ بين ز و ص

لا تلاقي واحدًا من السطحين اذ كانت ليست امامَ احدها بل خلف كل منهما وهكذا الشعاع المنتشرة من النقطة د

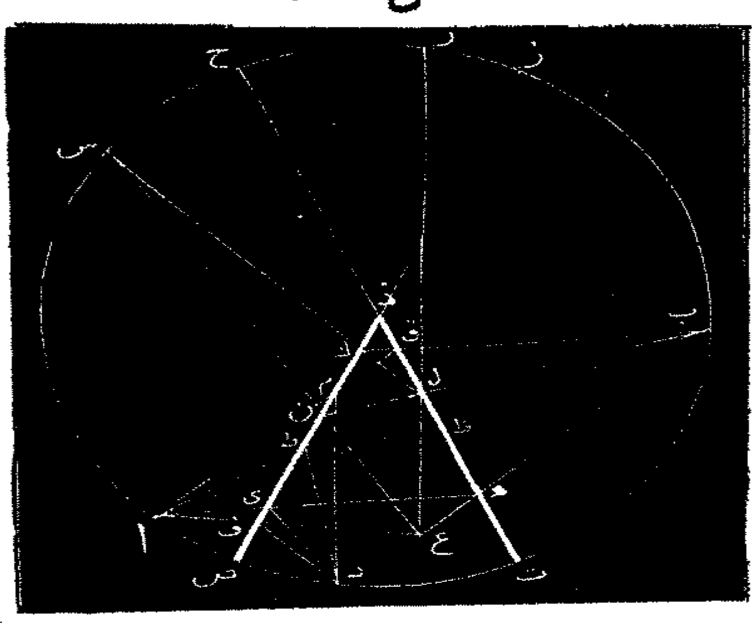
كل فسحة الانفراج بين المرآتين اعني القطاع ا ب س تُصطَنع صورة في دائرة كما تصطنع صور شبح بينهما اذ كان يجوزان تعتبر شبحًا . ولما كان جرم كل من القطاعات يتناقص بتناقص ميل المرآتين فيزداد تكرار عددها على نفس نسبة تناقص الجرم ويزداد عدد صور شبح بين المرآتين على نسبة ازدياد عدد القطاعات فعدد صور شبح بين مرآتين يزداد كنقصان ميلهما. ولما كان نقصان زاوية ميلهما يقرِّبهما الى التوازي فعدد الصور يقترب الى عدم التناهي باقترابه الى التوازي

٤٤٨ لما كان المتعلم احيانًا يصادف صعوبةً بتصوُّر طريقة الاشعة التي تجري فيها لاصطناع الصور المتتابعة فلا باس من ان نزيد على ما مرَّ ما يوضح ذلك. فنقول انهُ مهما ترددت او انعكست شعاعة النور بمرورها من شبح الى العين فالشبح يُرى في تلك الجهة التي فيها النور اخيرًا يلاقي العين . فباصطناع الصور السابقة شعة النور قد تنعكس ثلاث او اربع انعكاسات في جهات مختلفة . ولكن لا تزال الصورة تظهر في خط الشعة الاخيرة التي تلاقي العين

لتكن ذ ص و ذ ت مرآتين زاوية ميل احداهما على الاخرى ت ذ ص. فان كانت العين عند ع والشبح عند د وصورهُ التي تحصل من وقوع الشعاع على ذ ص عند ا ب س ز فكل صورة انما ترى بقلم الشعاع الذي ياتي من المرآة الى العين كأن مصدرهُ تلك الصورة . ارسم خطًا من الصورة ز الى العين

ومن تقاطعهِ بالمراة ارسم خطًّا الى الصورة س امام المراة ومن تقاطع هذا الخط بالمراة الثانية خطًّا الى الصورة امامها وهكذا الى ان تصل الى د . وعلى

شكل ٣٢٦



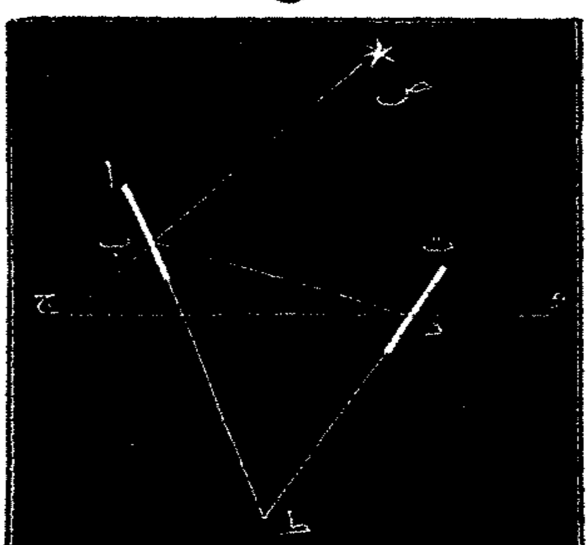
هذا الاسلوب ترسم خطوطًا من بقية الصور وحينئذٍ يمكن ان يتتبَّع مسير قلم النور من د . فاذا كان ا ع مرسومًا ود ف مرسومًا الى نقطة التقاطع ف ترى الصوره ا بالشعة د ف ف ع . وعلى هذا الاسلوب ب ترى بالشعة د ج ي ه ه ع وس ترى با لشعة د ط ط ل ل ن ن ع و ز ترى بالشعة د م م ق ق ك ك ل ل ع . وعلى كل حال زاوية الوقوع وزاوية الانعكاس متساويتان على المراتين

٤٤٩ اذا نظرت صور شبح بعيد مرتفع كجرم سماوي بانعكاس النور عن مرآتين مستويتين اذ يكون خط تقاطع سطحي المرآتين عموديًا على سطح الانعكاس تكون زاوية هبوط الصورة عن الشبح تساوي مضاعف ميل المرآتين

لتكن ا ب ت د ( شكل ٣٢٧ ) مرآتين مستويتين لاُحداها زاوية ميل

على الاخرى . ليخرج اب وت د حتى يلتقيا في ط فتكون زاوية ا ط ت ميل المراتين . ولتكن ص ب شعة نور آتية من شبح بعيد كنجم ومنعكسة عن ا ب

شكل ٢٢٧




الى ت د ومن ت د الى العين عند ج فتكون صورة ص عند و في خط ج د المخرج اخرج ايضاً ص ب الى ج فتكون وج ص زاوية هبوط الصورة عن الشبح اذ يكون خط تقاطع المراتين المار في ط عمودياً على سطح ا ط ت الذي هو سطح الانعكاس . فعلينا ان نبرهن ان زاوية ص ج و هي مضاعف زاوية ا ط ت

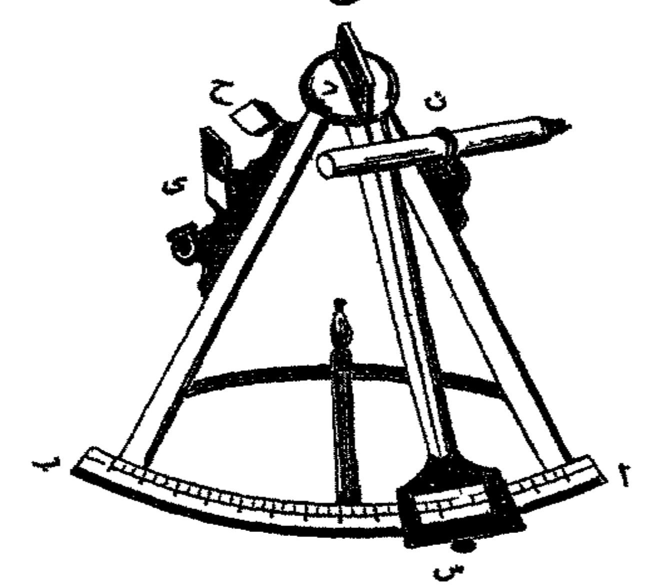
لان ج ب ط = ا ب ص = ط ب د فاذاً ج ب د = ٢ ط ب د وعلى هذا الاسلوب يبين ان ب د و = ٢ ب د ت ولكن ص ج و = ب د و — ج ب د = ٢ ب د ت — ٢ ط ب د = ٢ ب ط د . اذاً تكون ص ج و = ٢ ب ط د . وعلى ذلك اذا كانت المراة ا ب متوازية للمراة ت د فلا تتغير جهة النجم لانهُ لا ميل للمراتين حينئذٍ . واذا دار سطح المراة ا ب ط فزيادة زاوية الشعة المعكسة مضاعف زيادة زاوية المرآة . فبادارة مراة في ٤٥° تنتقل الصورة ٩٠° او في ٦٠° فتنتقل الصورة ١٢٠° . وعلى هذا المبدا قد اخترع سدس هدلي الذي يستعمل في قياس ارتفاع الشمس او النجوم عن

الافق او ارتفاع بعضها عن بعض كما سترى

٤٥٠ سدس هدلي . ان الاجزاء الجوهرية في هذه الآلة هي كما ترى في هذا الشكل

(١) قوس ا ب وهو سدس الدائرة التي نصف قطرها ا د او ب د ولهذا سميت هذه الآلة بالسدس . وبعض الالات من هذا الجنس يجعلون هذه القوس فيها ربع قائمتين ويسمونها ربع هدلي . ويقسمون السدس الى ١٢٠° فتكون كل درجة كناية عن نصف درجة ولكن بما ان فرق نصف درجة في ميل المراة يجعل

شكل ٣٣٨




فرق درجة في هبوط الشبح يسمونها درجات . ويقسمون الربع الذي هو ٤٥° الى ٩٠° لما ذكر . وكل درجة مقسومة الى ستة اقسام فيكون كل من الستة ١٠′

(٢) الزند س د في اسفلهِ مدقق اوفرنير عند س وهذا المدقق مقسوم الى ١٠ اقسام وهذه الاقسام تنقص عن عشر درجات في القوس سدس درجة اي ١٠′ فكل قسم منها ينقص دقيقة . وفي اول خط من بداية الاقسام المذكورة علامة كراس سهم يقال لها السبابة وهذا المقياس يتحرك ويدور مع الزند على المحور د على كل قوس السدس

(٣) مرآة الزند المتصلة بهِ عند د . وسطح هذه المرآة يمر بمركز الحركة د وعمودي على سطح الالة اي على السطح الذي يمر في القوس المنقسم الذي مركزهُ د

(٤) مرآة اخرى عند ي. وهذه يقال لها زجاجة الافق وهي ايضاً عمودية على سطح الآلة ومتوازية لسطح الافق متى كانت سبابة مقياس الزند عند صفر في بداية اقسام قوس السدس. وقسمٌ منها مغطى بزيبق يستخدم كمرآة والقسم الاخر باقٍ شفافًا فيها ترى الاشباح في موقعها الحقيقي

(٥) نظارة عند ن تقابل الخط الفاصل بين الجزء الشفاف من زجاجة الافق وبين الجزء المغطى بالزيبق بها ترى صورة الجرم المنعكسة اشعتهُ عن الجزء الزيبقي في زجاجة الافق بعد انعكاسها عن مرآة الزند ويرى ايضاً الافق من الجزء الشفاف

(٦) زجاجات ملونة توضع بين مرآة الزند وزجاجة الافق عند ح لكي تمنع عن العين اذى نور الشمس الباهر بمروره فيها قبل وقوعهِ على زجاجة الافق . وقد توضع زجاجات ملونة ايضاً خلف زجاجة الافق لكونهِ يراقب بالآلة احيانًا صورة الشمس الباهرة تحت الافق الزيبقي كما سترى . وجميع هذه الزجاجات الشبيهة بالشفافة تجعل تدور على محورٍ ثابت في الآلة بحيث يمكن توسطها بين شعاع الشمس والعين او توسط بعضها او نزعها عند ادارتها بحسب مقتضى الحال

٤٥١ انهُ بهذه الآلة تقاس زاوية ارتفاع الشمس او القمر او نجمٍ من النجوم عن الافق . لانهُ اذا نظرنا الى الشمس بالنظارة وسبابة مقياس الزند عند صفر تظهر الشمس ذاتها في الجزء الشفّاف من زجاجة الافق وصورتها في الجزء الزيبقي على جهة واحدة اذ تكون المرآتان حينئذٍ متوازيتين كما اشرنا. (ولا تاثير من البعد الطفيف بين الشعة الواقعة من الشمس حينئذٍ والمنعكسة اخيرًا الى العين الموازية لها باعتبار بعد الشمس فتحسبان كانهما شعةٌ واحدة). فاذا نزلنا صورة الشمس بواسطة تحريك المدقِّق على القوس الى الامام وتتبعناها بالنظر الى ان تصل الى الافق الذي يرى جليا بالنظارة تعرف زاوية ارتفاعها

عنهُ . لانهُ اذا نظرنا الى السبابة نقرا الدرجات وعشرات الدقائق على القوس ومن النظر الى الاتفاق بين اقسام المدقق وبين اقسام القوس نقرا آحاد الدقائق وعشرات الثواني

مثالهُ بعد تنزيل الشمس الى الافق وجدت السبابة بعد ٣٥° بين القسم الثالث والرابع من اسداس الدرجة وكان الاتفاق بين اقسام المدقق والقوس بين ٦ و٧ من المدقق على بعد ٣ اقسام من ٦ يكون ارتفاع الشمس ٣٥° ٣٦′ ٣٠″ لان الدرجات وعشرات الدقائق عرفت من القوس و٦′ و٣٠″ عرفت من المدقق . وعلى هذا الاسلوب يقيسون ارتفاع جرم سموي عن آخر

ثم انهُ لما كان الافق يختفي احيانًا بالجبال او الغيوم او غير ذلك فاذا اريد قياس ارتفاع جرمٍ حينئذٍ توضع صحفةٌ من زيبق على الارض ثم يقف الناظر بحيث يرى صورة الجرم تحت الافق في وسط الزيبق . ثم تنزّل صورتهُ على المرآة الى ان تمس صورتهُ السفلى في وعاء الزيبق على جانبها فاذ تكون تلك الزاوية التي نقرأُ على القوس والمدقق مضاعف زاوية ارتفاع الجرم عن الافق لان كلا الجرم وصورتهِ على بعد واحد من الزيبق ( رقم ٤٤٥ ) يوخذ نصف تلك الزاوية لزاوية الارتفاع

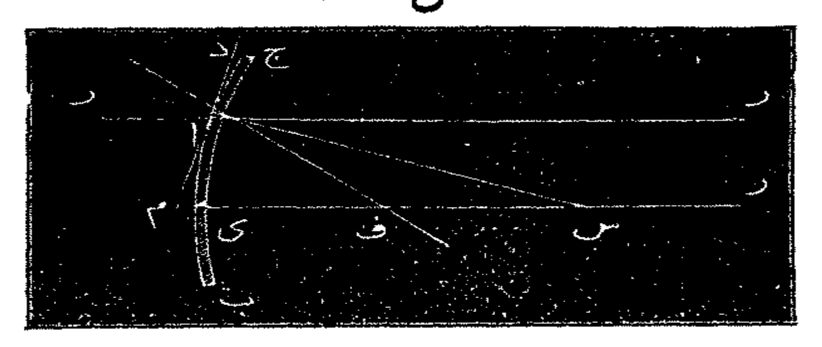
ثم من هذه الآلة يُعرَف الظهر الحقيقي . لانهُ اذا نزِّلت صورة الشمس قبل الظهر بنصف ساعة او اقل الى ان تمس صورتها في الزيبق ثم تُرِكت قليلاً من الزمان تنخفض الصورة في الزيبق وترتفع الصورة في المرآة فتفترقان واذا رُجِّعتا تفترقان ايضًا وهكذا الى ان يصير الظهر فتقف الصورتان ثم ينعكس العمل بعد الظهر بان تاخذ صورة الصحفة بالارتفاع وصورة المرآة بالهبوط فيفترقان ايضًا . وبين هذين الحالين يكون الظهر تمامًا . اما ارتفاع الصورة في المرآة وانخفاضها فلارتفاع الشمس نحو خط الهجر وانخفاضها عنهُ . واما انخفاض الصورة في الصحفة او ارتفاعها فلارتفاع الشمس او انخفاضها وذلك يتضح من تامل قليل بالاشعة الواقعة والمنعكسة . اما علة ارتفاع الشمس

فيعرف من علم الفلك وهو ظاهرٌ ايضا لدى الفطن

٤٥٤ الانعكاس عن مرايا مقعرة.شعاع متوازية واقعة على مرآة مقعرة قرب محورها تنعكس الى بؤرة بعدها عن سطح المرآة يساوي بعدها عن مركزها . ويقال لتلك البورة البورة الرئيسة

ليكن را رى ( شكل ٣٢٩ ) شعتين متوازيتين واقعتين على مرآة كروية ج ي ب مركزها في س فالشعة رى اذ تمر في المركز س وتقع لذلك عمودية على المرآة عند ي تنعكس في جهة ي س. ارسم س ا واجعل س ا ف = س ا ر فالشعة را تنعكس في جهة ا ف. عند نقطة الوقوع ا ارسم مماسًا دم يقطع س ي المخرج في م. ثم لان را وري متوازيتان فالزاوية ر ا س = ا س ى = س ا ف فينتج ان س ف = ف ا. ولكن اذ كانت ف ا م = را د = ف م ا الداخلة المتقابلة فاذًا ف ا = ف م. فاذا فرضنا الشعة را قريبة من

شكل ٣٢٩




المحور رى فالقوس ا ى يكون صغيرًا ويكون قاطعة متساويًا لنصف القطر س ى تقريبًا. ثم يكون ف ى = ف م تقريبًا = ف ا = ف س اذًا ف س = ف ى

ولما كانت الشعاع المتوازية الواقعة على مرايا مقعرة تجتمع الى بؤرتها الرئيسة بين المركز وبينها فاذا اصطنع مرآة مقعرة كبيرة وقليلة التقعير لكي يكون مركزها بعيدًا ووضعت امام الشمس تجتمع اشعة كثيرة في بورة بعيدة وتفعل فعلاً عظيمًا بانها تحرق اصلب المواد الخشبية وتذوّب المعادن وبعض

الاتربة غير القابلة الذوبان . ونعرف من التاريخ ان ارخميدس الفيلسوف احرق مراكب مرسلُوس لما حاصر سراقوسا بواسطة مرآة مقعرة . ومرآة كهذه تصنع غالبًا من معادن مصقولة كالنحاس والقصدير . وقد تجمع عدة مرايا مقعرة معًا وتركب بحيث تجتمع بوراتها معًا فتصهر اقوى المعادن كالبلاتين صهرًا عجيبًا

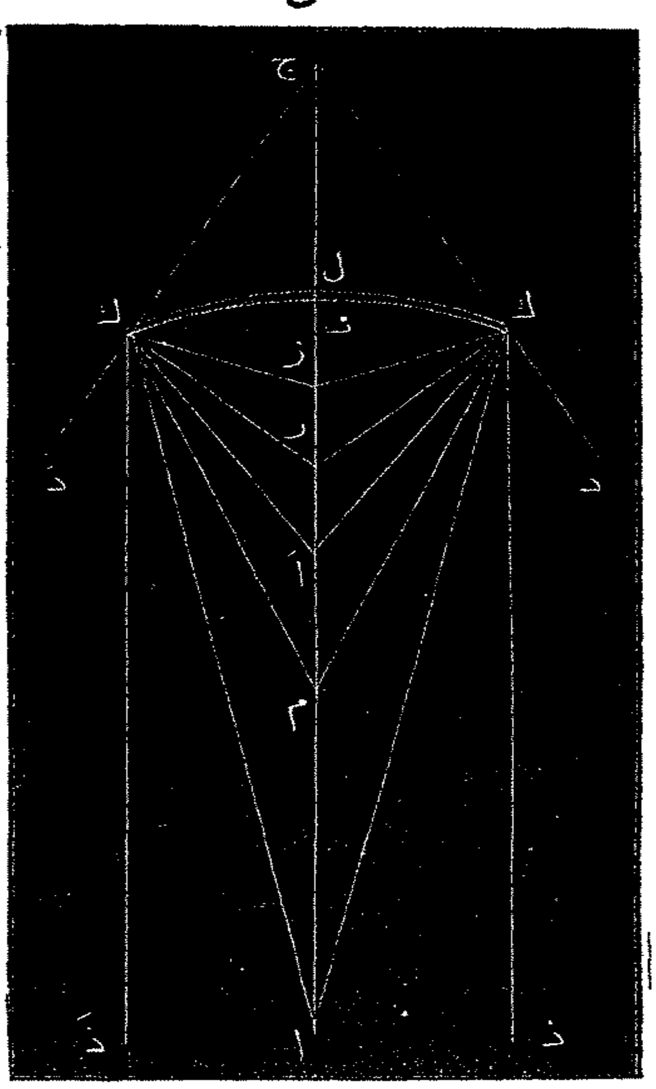
القضية السابقة تجري على شعاع قريبة جدًّا من محور المرآة س ى . وانما اذا ابتعدت الشعاع المتوازية من المحور فالبورة ف تصير اقرب فاقرب الى النقطة ى حتى يصير القوس ى ا مساويًا ٦٠° فتنطبق نقطة ف على ى . لان س ا ف وا س ف اذا كان كل منهما ٦٠° فالزاوية الباقية من المثلث اف س لا بد ان تساوي ٦٠° ايضًا وبالنتيجة س ف لا بد ان يساوي س ا فبالضرورة تنطبق نقطة ف على نقطة ى

٤٥٣ شعاع منتشرة واقعة على مرآة مقعرة تجتمع الى بورة يتغير موقعها كتغير بعد الضوء عن المرآة بموجب هذا الناموس ان زاوية الوقوع وزاوية الانعكاس على جانبي نصف قطر التقعير متساويتان

فان كانت نقطة نور ابعد عن المرآة من المركز م كما اذا كانت عند ا ( شكل ٣٤٠ ) تكون البورة بين المركز والمرآة . او كانت المركز فالشعاع ترجع اليهِ . او كانت اقرب الى المرآة فالبورة تجتاز الى الجانب الاخر منهُ وتدوم تبتعد عنهُ حتى تصل النقطة المنيرة الى موقع البورة الرئيسة فلا يكون لها بورة حينئذٍ بل تنعكس اشعتها متوازيةً وقبل وصولها اليها اذ تكون بينها وبين المركز ترتقي بورتها على الجانب الاخر منهُ الى بعد غير متناهي . واخيرًا اذا جعلت النقطة المنيرة اقرب الى المرآة من البورة الرئيسة فالشعاع تنتشر

ولا ترجع الى بورة ايضًا . وكل ذلك يتضح جليًا من ناموس الانعكاس اذ تجعل زاوية الوقوع على جانب نصف قطر المرآة الذي يحسب عموديًا عليها

شكل ٢٤٠




تساوي زاوية الانعكاس على جانبهِ الاخر . مثالهُ الشعاع الخارجة من ا تجتمع في آ والتي من م المركز ترجع الى م ايضًا والتي من آ تجتمع في ا والتي من ر البورة الرئيسة تنعكس في خطوط متوازية كَ ذَ ك ذَ على جانبي المحور والتي تاتي من ز تنعكس في خطي ك د ك دَ التي يظهر انها خارجة من عند ج . ثم ان وضع الجسم المنير قرب المرآة اولاً ورجع عنها تدريجًا يظهر العكس . ولذلك الجسم

المنير وبورته المقابلة يسميان البورتين المنضمتين . ففي هذا المثال البورتان المنضمتان تتقاربان حتى تلتقيا في المركز ثم تتباعدان على جانبيه حتى تصل البورة القريبة من المرآة الى البورة الرئيسة اذ تفترق البورتان احداها عن الاخرى الى بعدٍ غير محدود

ثم لان كم ينصف زاوية اكآ فحسب ( اقليدس ق ٣ ك ٦ )

اك : آك :: ام : آم اي ان نسبة بعد البورة خلف المركز عن سطح المرآة الى بعد التي امامه عنه هي مثل نسبة بعد الاولى عن المركز الى بعد الثانية عنه

ثم لنجد عبارة جبرية منها يعرف واحد من هذه الثلثة الاشياء وهي اكم كآ كا ان عرف اثنان . ارسم كف ( شكل ٢٤٠ ) عموديًّا على ال

ولمَّا كان كآ ف = كم ف + آكم

و كاف = كم ف − اكم

فاذا جمعنا هاتين المعادلتين فلان آكم = اكم يكون

كاف + كآف = ٢ كم ف

ولكن ان فرض ان المرآة قسمٌ صغير من سطح مقعر لكرة فهذه الزوايا تساوي جيوبها تقريبًا ولذلك جكاف + جكآف = ٢ جكم ف

وحسب حساب المثلثات جكاف = $\frac{\text{كف}}{\text{كا}}$

وجكآف = $\frac{\text{كف}}{\text{كآ}}$

وجكم ف = $\frac{\text{كف}}{\text{كم}}$

اذًا $\frac{\text{كف}}{\text{كا}} + \frac{\text{كف}}{\text{كآ}} = \frac{\text{٢كف}}{\text{كم}}$

او $\frac{\text{١}}{\text{كا}} + \frac{\text{١}}{\text{كآ}} = \frac{\text{٢}}{\text{كم}}$

فان عرف اثنان من هذه الثلثة الاجزاء من المعادلة نجد الثالث بسهولة

س ١ مرآة مقعرة نصف قطرها ١٠ عقد وقع عليها نور منتشر من نقطة على بعد ١٤ عقدة امام المرآة مطلوب بعد البورة المنضمة عن المرآة

ج ١٤/١ + ١/كَ١ — ١٠/١ وكَ١ — ٧٠٧٧ عقد

سٌ اذا انتشر قلم من نور من نقطة بعدها ٢٤ عقدة من مرآة مقرة نصف قطرها قدمان مطلوب بورتها المنضمة

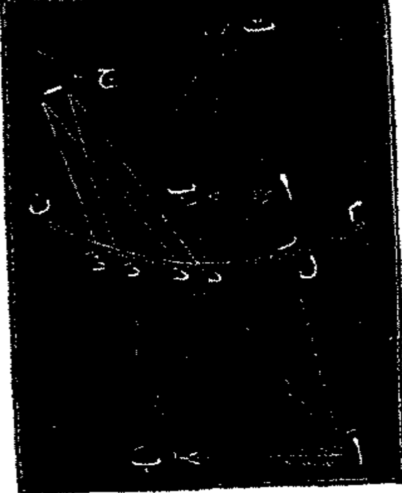
ج كَ١ — ١٨٠٥٤ عقدة

## ٤٥٤ اذا وضع شبحٌ امام مرآة مقعرة. فلصورتهِ مقادير ومواقع مختلفة تتوقف على بعد الشبح عن المرآة

ان لذلك اربعة احوال

(١) متى كان شبح بين المرآة وبورة الشعاع المتوازية تظهر الصورة خلف المرآة وابعد من الشبح عنها واكبر منهُ . لتكن م ن مرآة مقعرة (شكل ٣٤١) وت مركزها و اب الشبح . من ت ارسم ت ا آ ت ب بَ وليوضع الشبح بحيث تصل الشعاع المنعكسة الى العين عند ج . فالشعتان ا د ا ذ الخارجتان من ا تنعكسان الى العين عند ج جاعلةً مع العمود ت ذ او ت د زاويتين متساويتين وتنتشران كانهما اتتا من نقطة بعيدة آ الواقعة في تقاطع هاتين الشعتين عند التقائهما بالعمودي ت ا آ . فلان آ د بَ — ت د ج — ت د ا فزاوية آ د بَ — ت د ا وبالنظر الى مثلث د ت ا زاوية د ا آ اعظم من ت د ا فهي اعظم من آ د بَ وبالنظر الى مثلث آ د ت زاوية آ د بَ اعظم من د آ ا فبالاحرى تكون زاوية د ا آ اعظم من د آ ا فخط د آ اعظم من د ا.

شكل ٣٤١



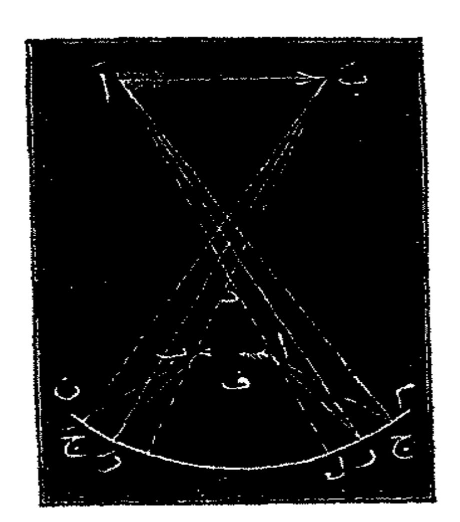
ثم اذا رسم من د العمودي د ل على ت آ فواضحٌ انهُ ينصف زاوية ا د ا

وبموجب اقليدس ( ق ٣ ك ٦ ) آد : د ا :: آ ل : ل ا وقد تبين ان آ د اعظم من د ا اذًا آ ل اعظم من ل ا وبالاحرى آ ر اعظم من ر ا . وعلى هذا الاسلوب يبين ان الشعاعين ب دَ ب ذَ تدخلان العين كانهما خرجتا من بَ حيث يلتقيان بالخط ت بَ وان بَ د اعظم من د ب . فيكون من مشابهة المثلثات آ بَ اعظم من ا ب بنسبة ت بَ الى ت ب

(٢) اذا وضع الشيء في بورة الخطوط المتوازية فالشعاع تخرج متوازية ولن تجمع بعد حتى تصنع صورةً من ذاتها ولا تاتي من نقطة خلف المرآة فتصنع صورةً وهميةً كما في الحال الاول

(٣) اذا وضع الشيء بين بورة الشعاع المتوازية والمركز تصنع الصورة على الجانب الاخر من المركز مقلوبةً واكبر من الشيء . لتكن م ن ( شكل ٣٤٢ ) المرآة المقعرة مركزها د وف بورة الشعاع المتوازية وا ب الشيء . من د ارسم د ا ود ب واخرجها الى آ وبَ . ثم لتكن ا ر ا ج وب رَ ب جَ حزمتين من الشعاع جاريتين من الطرفين ا وب . فهذه الشعاع بعد الانعكاس في جهات رآ وج آ رَ بَ جَ بَ تلاقي العمودين د آ د بَ في نقطتي آ وبَ على بعد من المرآة اعظم من بعد المركز د وهناك تُصطنع صورة هاتين النقطتين من الشيء وهكذا باقي النقط بينهما كما مر . اما كون الصورة ابعد عن د من الشيء فلان الشعتين ار رآ يجعلان زاويتين متساويتين مع نصف القطر د ر فتكون د آ اعظم من د ا بمقدار ما تزيد آ ر على را اقليدس (ق ٣ ك ٦) وآ ر اعظم من ا ر لان رآ ابعد من را عن عمودي

شكل ٣٤٢



برسم من رالى آل اقليدس (ق ا ك ا) فبالضرورة آ د اعظم من د ا وفي المثلثين المتشابهين آ د بَ واد ب نسبة آ بَ : ا ب :: آ د : ا د اي ان الصورة اعظم من الشبح بمقدار زيادة بعد الصورة عن المركز على بعد الشبح عنهُ

(٤) اذا وضع الشبح ابعد من مركز المرآة المقعرة تكون الصورة بين المركز وبورة الشعاع المتوازية مقلوبة واصغر من الشبح. وذلك يظهر من (شكل ٣٤٢) لان هذه الحال قلب التي قبلها وتتضح اذا افترضنا ان الشعاع تاتي من آ بَ وتنعكس الى ا ب اذ يكون آ بَ الشبح وا ب الصورة . واذا وضعت النقطة الوسطى من الشبح في مركز المرآة تنطبق الصورة على الشبح وتنقلب . اما كون مركز الصورة ينطبق على مركز الشبح فينتج مما تقدم اذ كانت الشعة المنعكسة ترجع في طريق الشعة الواقعة او العمودي والاشعة الصادرة من طرفي الشبح ا ب تجعل زوايا متساوية مع هذا العمودي على جانبيهِ ولذلك تقع على الشبح صورة مقلوبة راجعة من المرآة

ان الاحوال المذكورة تتاكد بالتجربة. فلنفرض ان مصباحًا مضيئًا موضوعًا قريبًا جدًّا من مرآة مقعرة فلا تصنع صورةً امامها لان الشعاع تخرج حينئذٍ منفرجة ولكننا نرى صورة المصباح مكبرة خلف المرآة. ثم بابعاد الضوء عن المرآة الى نحو البورة الرئيسة تبتعد الصورة بسرعة على الجانب الآخر من المرآة ولا تزال تتعاظم حتى يصل الضوء الى البورة المذكورة وحينئذٍ تختفي الصورة سريعًا. وبنقل الضوء ابعد قليلاً توجد الصورة على بعدٍ امام المرآة مكبرة جدًّا. ثم اذ يقترب الضوء الى المركز تقترب اليهِ الصورة على الجانب الآخر منهُ ولا يزال حجمها يتناقص حتى يلتقيا ويتطابقا في المركز. ثم بنقل الضوء الى ابعد تظهر الصورة ايضًا بين المركز والبورة اصغر حجمًا ولا تزال تقترب الى البورة بابطاء ولكنها لن تصل اليها ما لم يعتبر النيّر على بعدٍ غير محدود كالكواكب السموية. وكل ذلك يوضح الاحوال المذكورة

س. لهيب مصباح علوهُ عقدتان وضع امام مرآة مقعرة نصف قطرها ٣ اقدام على بعد ١٠ اقدام مطلوب بعد الصورة المنقلبة وجرمها

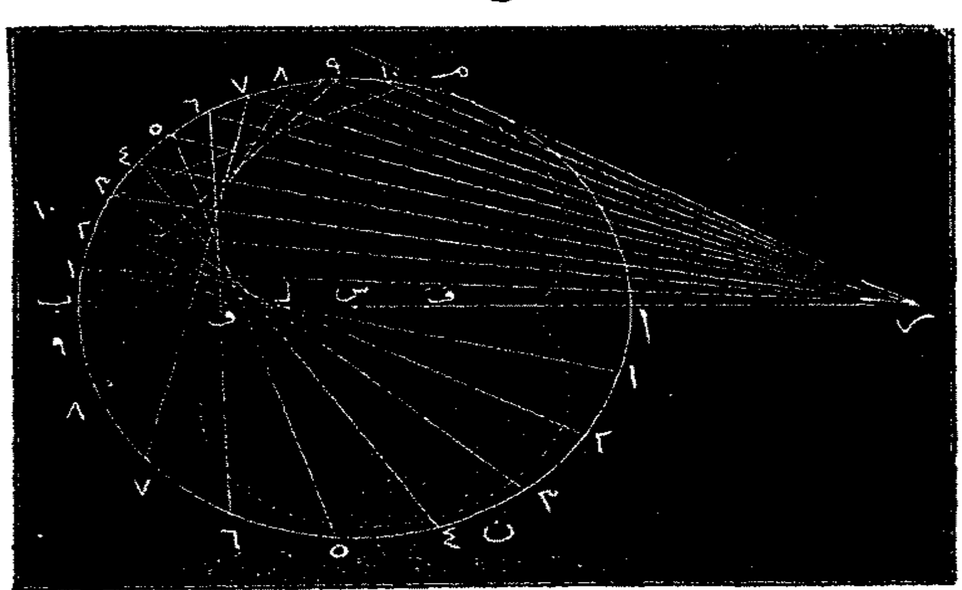
الجواب ٣٦/٢ — ك/١ + ١٢٠/١ وك = ١٧ ، ٢١ عقد البعد

و٣ ، ٨٣ ، ١٤ : ٨٤ :: ك : ٢ وك — ٣٥٣ ، ٠ عقدة اي الحجم

٤٥٥ انهُ بانعكاس النور من مرايا مقعرة يظهر شكلان منحنيان على هيئة خصوصية يقال لهما محترقات الانعكاس

ليكن م ب ا (شكل ٣٤٢) مرآة كروية مقعرة مركزها س وبورتها الرئيسة ف وليكن ر م ب قلماً من شعاع واقعاً على النصف الاعلى م ب من المرآة عند

شكل ٣٤٢



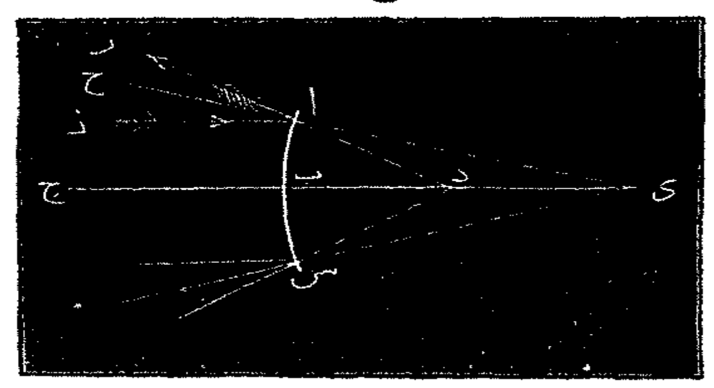
النقط ١ و٢ و٣ و٤ الخ. فان رسمنا انصاف اقطار من المركز الى كل هذه النقط وجعلنا كلاً من زوايا الانعكاس تساوي كلاً من زوايا الوقوع نحصل على جهات وبورات كل الشعاع الواقعة. ر ا بورتها المنضمة عند ك بين ف والمركز س. والشعة الثانية ر ٢ تقطع الاولى اقرب الى ف وتعلو قليلاً عن المحور وهكذا في البقية ترى البورات تقترب من س الى نحو ف وتعلو قليلاً. ويرسم كل الشعاع

المنعكسة الى هذه البورات يرى انها تتقاطع كما في الشكل وتصنع بتقاطعها مخنى المحترقات م ك . ومثل ذلك يصطنع مخني المحترقات ن ك بوقوع قلم شعاع على النصف الاسفل من المرآة . ويسميان بذلك لان النقط التي ترسم هذين المخنيين هي المع واحرّ من سائر الفسحات لاجتماع الشعاع والحرارة التي تصحب الشعاع في تلك النقط . وهذان المخنيان يظهران على وجه الحليب في كاسةٍ بيضاء او فنجان موضوعٌ في الشمس

٤٥٦ الانعكاس عن مرايا محدبة . اذا وقعت اشعة متوازية على مرآة محدبة تنعكس كانها منفرجة من نقطة خلف المرآة . ويقال لهذه النقطة البورة الوهمية

لتكن ا ب س مرآة محدبة مركزها ي ولتكن ذ ا ح ب شعاع متوازية واقعة

شكل ٣٤٤



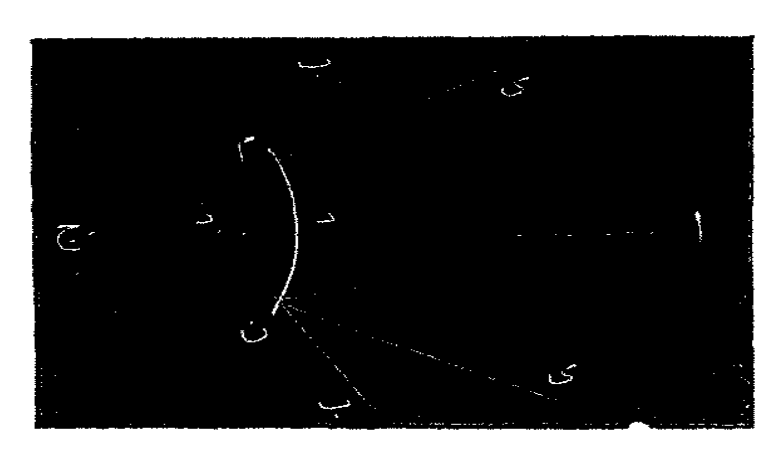

عليها اخرج اي الى ح واجعل الزاوية ح ا ر = ح ا ذ . فلان زاوية الانعكاس تساوي دائمًا زاوية الوقوع فالشعة ذ ا تنعكس في جهة ا ر كانها صدرت من النقطة د . وكذلك الزاويتان د ا ي د ي ا متساويتان كما يتضح ذلك بادنى تامل بموجب الهندسة فخط د ا = د ي وان كانت المرآة صغيرة يُشعر ان خط د ي = ب د اي ان بورة الشعاع المتوازية او البورة الرئيسة هي د في النقطة الوسطى لنصف قطر التحديب . ولكن نقطة د ليست النقطة حيث تجتمع الاشعة

المنعكسة حقيقةً بل حيث تجتمع لو أُخرجت الى خلف سطح المرآة . ولذلك يقال لهذه النقطة البورة الوهمية

٤٥٧ اشعة منفرجة واقعة على مرآة محدَّبة تنعكس كأنها منفرجة من نقطةٍ خلف المرآة اقرب اليها من البورة الرئيسة

لتكن م ن (شكل ٢٤٥) مرآة محدَّبة وج مركز التقعير وام وا ن شعتين منفرجتين من ا تقعان على المرآة عند نقطتي م ون والخطان ج م ي ج ن ي

شكل ٢٤٥



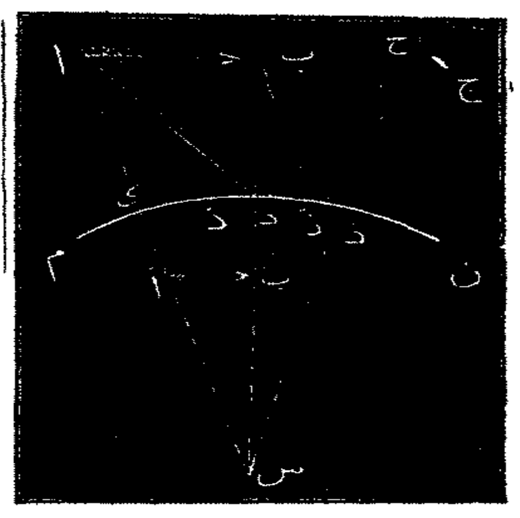

عموديان كما مرَّ (شكل ٢٤٤) على المرآة عند م ون . فان جعلنا زاويتي الانعكاس ي م ب ي ن ب متساويتين لزاويتي الوقوع ي م ا ي ن ا تكون م ب ن ب الشعتين المنعكستين اللتين ان أُخرجتا الى خلف تلتقيان في ذ بورة الشعاع خلف المرآة . ثم انهُ لواضح ان زاوية ا م ي اعظم مما تكون لو اتت الشعاع على موازاة ا د وبالنتيجة تكون ي م ب اوج م ذ اعظم مما تحصل لو كانت ا م توازي ا د . وهكذا بشان ج ن ذ فلا بدَّ ان تكون ذ حيث تلتقي هاتين الشعتين اقرب الى د في هذا الشكل من د الى ب (شكل ٢٤٤) اي انهُ في انعكاس الشعاع المنفرجة بعد البورة الوهمية د ذ اقل منهُ في انعكاس المتوازية . ولنفس هذا السبب اذا افترضنا ان الجسم المنير عند النقطة ا اقترب الى المرآة فالبورة الوهمية ذ تقترب

اليه ولما يصل ا الى النقطة د تصل ذ اليها. وعلى هذا الاسلوب اذا ابتعد ا عن المرآة فالبورة ذ تبتعد عنهُ واذا كان ا بعيدًا الى غير نهاية كجرم سموي او متى اتت الشعاع متوازية كما في (شكل ٣٤٤) فالبورة ذ تصل الى مكان البورة الرئيسة

٤٥٨ اذا وضع شيح امام مرآة محدبة تظهر الصورة أقرب الى سطحها من الشيح واصغر منهُ حجمًا

لتكن م ن (شكل ٣٤٦) مرآة محدبة مركزها س والشيح ا ب. وليكن

شكل ٣٤٦



موقع الشيح بحيث تدخل الشعاع المنعكسة عنهُ في العين عند ح. من س ارسم س ا س ب يقطعان المرآة م ن في ي وذ. فالشعتان ا ذ ا د تنعكسان الى ح وح جاعلتين زاويتين متساويتين مع كلٍّ من العمودين الخارجين من س الى ذ والى د ولذلك تدخل العين كانها اتت من نقطة ما مثل آ عند تقاطع هاتين الشعتين بالعمودي ا س فتظهر صورة نقطة ا من الشيح عند آ. وعلى هذا المنوال ب ذَ ب دَ الواقعتين على نقطتي ذَ دَ تنعكسان الى العين كانهما اتتا من بَ حيث يقطعان العمودي المرسوم من ب الى س. ثم اذ كانت الشعاع

المنعكسة تنفرج اكثر من الواقعة تكون النقطة اَ اقرب الى المرآة من ا وتكون الصورة اَ بَ اصغر من الشبح ا ب بنسبة س بَ الى س ب

٤٥٩ في مرايا كروية سواء كانت مقعرة او محدبة نسبة قطر الشبح الى قطر الصورة كبعد الشبح عن المركز الى بعد الصورة عنهُ. وايضا كبعد الشبح عن وجه المرآة الى بعد الصورة عنهُ

لانهُ بالنظر الى المرآة المقعرة والمحدبة ترى الشبح والصورة يقابلان زاوية مشتركة وزاويتين متساويتين عند المركز والمحيط وبمشابهة المثلثات يكون طولها كبعدبهما عنها . ففي (شكل ٣٤٦) مثلاً نرى ا ب واَ بَ يقابلان ا س ب المشتركة عند المركز ومثلث ا س ب يشبه اَ س بَ فقطراها يتغيران كبعدبهما عن المركز ويقابلان ا ذ ب واَ ذ بَ المتساويتين ومثلث ا ذ ب يشبه اَ ذ بَ فقطراها يتغيران كبعدبهما عن سطح المرآة وهكذا في المرايا المقعرة

ان الناظر الى مرآة مقعرة يرى وجههُ يختلف بتقريبهِ او ابعادهِ اياها عنهُ كما ياتي. فاذا مسكها قرب وجههِ يرى صورتهُ واضحة لان الشعاع تاتي منفرجة ومكبرة لانها تكون ابعد كما مرَّ وحجمها يتغير كبعدها . وبتبعيد المرآة تصير الصورة اكبر فاكبر حتى تصل العين الى البورة الرئيسة . ثم من البورة الرئيسة الى المركز لا يرى صورة واضحة لان الشعاع تاتي الى العين مجتمعة الأمر الذي ينافي حصول صورة ممتازة . وعند المركز ترى العين صورتها فقط اذ كانت الصورة تنعكس الى الشبح وتنطبق عليها ومتى اجتاز المركز يرى وجههُ على الجانب الآخر من المركز امام المرآة ولئن تكن العادة تقتادهُ الى ان يرجعها الى خلف المرآة ويكون اصغر اذ يكون اقرب الى المرآة ومقلوبًا لان قلمي الشعاع من طرفي الشبح ومن اي نقطتين بينهما على بعد واحد منها يتقاطعان فينقلبان بين المركز والمرآة والعين ترى كل نقطةٍ بشعتها

مادة اكثف مادة الطف عمودي

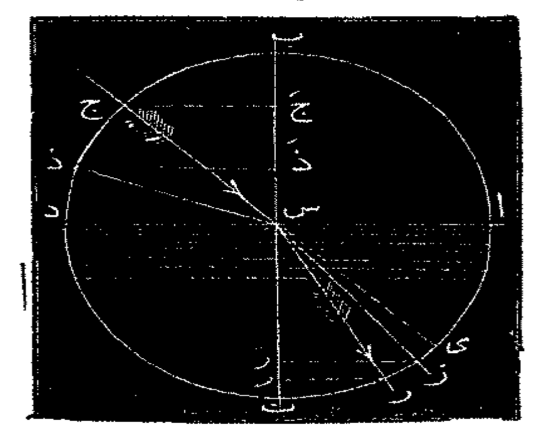
## الفصل الثاني

### في انكسار النور

٤٦٠ انكسار النور هو زيغانهُ عن جهة مسيرهِ اذا اجتاز الى مادة شفافة اكثف او الطف من التي كان مسيرهُ فيها. فاذا اجتاز الى مادة اكثف صار الى نحو خط عمودي مرسوم فيها من ملتقى النور بسطحها على ذلك السطح. واذا اجتاز الى الطف صار عن العمودي المذكور

فلنفرض ا د (شكل ٣٤٧) سطح ماء مثلاً. وج س شعة من الشمس مارة بالهواء واقعة على الماء. فهذه الشعة باجتيازها من الهواء الى الماء لا تبقى على جهة مسيرها الى جهة ي بل تزوغ الى نحو س ت العمودي من س على د ا وتسير في جهة س ر. فكانها قد انكسرت الى شعتين

شكل ٣٤٧




وهما ج س وس ر ولهذا سمي انحرافها عن مسيرها بالانكسار. وتسمى ج س الشعة الواقعة وس ر المنكسرة. واذا اخرج س ت الى ب تسمّى ج س ب زاوية الوقوع

ورس ت زاوية الانكسار ور س ي زاوية الزيغان . واذا فرضنا شعة مثل ب س وقعت عمودية فلا تنكسر اذ تنطبق على س ت العمود على د ا في الماء ولا يكون بعدٌ بينهما لتميل اليهِ . واذا اجتازت شعة مثل ز س من الماء الى الهواء تنكسر اذ تحيد مبتعدةً عن العمود س ب مثل س ذ

٤٦١ اذا اجتازت شعة نور من مادة الى اخرى تختلف عنها في الكثافة فلجيبي زاوية الوقوع وزاوية الانكسار نسبة واحدة ابدًا بين احدهما والاخر والشعة الواقعة والمنكسرة تكونان في سطح واحد

هذا الامر يظهر بالتجربة . لتكن ج س (شكل ٣٤٧) شعة من نور واقعة على السطح د ا من ماء او مادة اخرى. فهذه الشعة عوضًا ان تتقدم في خط ج س المخرج الى ي تنحرف او تنكسر عند س الى جهة س ر. وعلى هذا الاسلوب يُرى ان شعة اخرى مثل ذ س واقعة على نفس النقطة س تزوغ او تنكسر الى خط س ز. من النقطة س ارسم خط ب س ت عموديًّا على السطح د ا. واجعل س مركزًا وارسم دائرة ج ب ت . فان قابلنا زوايا الانكسار بزوايا الوقوع كل واحدة بالتي تخصها لا نشعر بوجود نسبة خصوصية بينهما الَّا ان الواحدة تزداد او تنقص مع الاخرى ولكن اذا قابلنا جيوب هذه الزوايا اي الخط ج جَ بالخط ر رَ والخط ذ ذَ بالخط ز زَ نجد ان نسبة كلٍّ من الزوجين الى الآخر ثابتة اذ يكون ج جَ الى ر رَ ابدًا مثل ذ ذَ الى ز زَ مهما كانت قيمة زوايا الوقوع او الانكسار. فان كان د ا سطح ماء واجتازت اليهِ شعة من الجلد فنسبة جيب زاوية الوقوع الى جيب زاوية الانكسار تكون مثل ٤ الى ٣ تقريبًا وهذه النسبة تبقى على حالها مهما تغيَّرت زاوية ميل الشعة على سطح الماء واذا اجتازت شعة من الجَلَد الى البلّور تكون النسبة مثل ٣ الى ٢ ومن الهواء الى

الكبريت مثل ٢ الى ١ ومن الهواء الى الماس مثل ١ الى ٥/٢. واذا حسبنا جيب زاوية الانكسار لشعةٍ من الشمس تجتاز من الجلد الى الماء واحدًا يكون بموجب النسبة المذكورة للماء جيب زاوية الوقوع — ٤/٣ — ١٫٣٣ وذلك ما يقال له دليل الانكسار. فيكون دليل الانكسار للبلور ١٫٥ وللكبريت ٢ وللماس ٢٫٥. فللماس القوة العظمى في تكسير النور. واذا اجتازت شعة من مادة الى الطف منها ينقلب الدليل فيكون دليل الانكسار للهواء بالنظر الى الماء ٣/٤ — ٠٫٧٥ وهلمّ جرًّا. ثم بادخال النور في ثقبٍ صغير عند ج (شكل ٣٤٧) حتى يجتاز في ثقبٍ آخر عند س بواسطة انوبة مفتوحة الفوهتين ويقع على قعر الاناء عند ر يوجد بالامتحان ان النقط الثلث ج وس ور في سطح واحد هو عمودي على وجه الماء

ولنا امثلة توضح ما ذكر. فاذا نظرنا الى مجذاف سفينة غاطسٍ في الماء نراهُ ملويًّا او مكسورًا وذلك لان نور الجزء الغاطس الذي به يبصر ذلك الجزء باجتيازهِ من الماء الى الهواء يميل عن العمودي في الهواء فيظهر على جهة الشعة المنكسرة أعلى مما هو حقيقةً ومثل ذلك ظهور قعرِ نهرٍ مرتفعًا وانقص عمقًا مما هو. ثم اذا وضع جسمٌ كربع مجيدي او ليرة او خلاف ذلك في قعر كاسةٍ ثم رجعت العين عن الكاسة الى ان يختفي الجسم في قعرها بحيث تحجز شفة الكاسة عن العين الشعاع الآتية من الجسم وثبتت العين في مكانها فاذا صبَّ ماءٌ حينئذٍ في الكاسة يظهر الجسم للعين. وذلك لكون الشعاع الآتية من الجسم بعد صب الماء تميل او تنكسر عن العموديّ في الهواء المرسوم من ملتقى الشعاع بسطحهِ فترى العينُ ذلك الجسم على جهة الشعة المنكسرة في الهواء فيعلو عن مكانهِ الحقيقي

ينتج مما تقدم انهُ اذا فرضت زاوية الوقوع باجتياز النور من مادة الطف الى اكثف او من اكثف الى الطف تعرف منها زاوية الانكسار. وانهُ اذا

استخرجت زاوية الانكسار المجهولة التي تحصل من وقوع النور من مادة أكثف على مادة الطف وظهرت انها اكثر من ٩٠° بان كان جيبها اكثر من واحد الذي هو بموجب حساب المثلثات نصف قطر او جيب ٩٠° فلا تجتاز الشعة حينئذٍ الى الالطف ولا يحصل انكسار بل تنعكس في المادة نفسها . مثال ذلك لنفرض ( شكل ٣٤٨ ) الشعة ان وقعت عند ن من الهواء على الماء المفروض سطحهُ د ذ اصنع الدائرة ا د ذ وارسم العمود ي ت ن ث . فاذا افترضنا ان زاوية ا ن ت = ٤١° ٥٥´ مثلاً ونصف القطر ن ت = ١ كما يفرض في جداول الجيوب الطبيعية يوجد في الجداول ان الجيب ا م = ٠٫٦٦٨٠٤٩١ فاذا انقسم هذا الجيب على دليل الانكسار للماء ١٫٣٣٣ او ١٫٣٣٣٦ باكثر تدقيق يكون الخارج ٠٫٥٠٠٠٣٦٨ وهذا الجيب

شكل ٣٤٨

تقابلهُ زاوية ٣٠° تقريبًا . فاذا افترضنا ح ي = هذا الجيب تكون ن ى شعة الانكسار جاعلةً زاوية ي ن ث = ٣٠° . ا ونقول ٤ : ٣ :: جـ ٥٥´ ٤١° : جـ ى ن ث المجهولة = ٣٠° تقريبًا . ثم اذا فرضنا ان الشعة ن ي اجتازت من الماء الى الهواء وفرضت زاوية ي ن ث ٣٠° نعرف ان م بضرب جيبها في دليل الانكسار واخذ الزاوية التي تقابل الجيب الحاصل فتكون ٥٥´ ٤١° او ٣ : ٤ :: جـ ٣٠° : جـ ان م = ٥٥´ ٤١° . ولكن اذا فرضنا شعة ج ن جعلت مع م ث زاوية ج ن ث = ٣٨´ ٤٨° نجد بالحساب بموجب ما تقدم ان شعة الانكسار في الهواء يقتضي اذ ذاك ان تجعل مع ن ت زاوية ٩٠° فتمر في خط ن د على وجه الماء . ولذلك لا يخفى ان الشعاع الخارجة من النقط بين ث و ج تجتاز الى الهواء وتجعل زاوية انكسار اما الشعاع بين ج و د فلا تجتاز بل ترجع ما بين ذ و ث كالشعاع الواقعة والمنعكسة جارية على قانون

الانعكاس اي ان زاوية الوقوع وزاوية الانعكاس متساويتان مثل الشعة ل ن فانها لا تجتاز الى الهواء بل ترجع منعكسة عن سطح د ذ في جهة ن ب. وتسمى زاوية ج ن ث التي تجعل للشعاع المجتازة ضمنها من الماء الى الهواء زاوية انكسار زاوية الانكسار الكلي . فزاوية الانكسار الكلي للماء بالنظر الى الهواء ٣٨ ´٤٨° ولا يخفى انه اذا فرضنا زاوية الانكسار الكلي = ر ودليل الانكسار = د ونصف القطر ا وجيب ٩٠° = ا يكون لنا بموجب ما مرّ ا = د × ج ر وجر = ١/د فلكي تعرف زاوية الانكسار الكلي

اقسم واحداً على دليل الانكسار يخرج لك جيبها ثم خذ من عمود الجيوب الطبيعية الزاوية التي تقابل هذا الجيب فتلك المطلوبة .

## مسائل

س١ اذا وقعت شعة من النور على الماء على زاوية ٦٠° استخرج زاوية الانكسار ج ٤ : ٣ :: جـ ٦٠° : جـ زاوية الانكسار = ٣٠´ ٤٠°

س٢ اذا وقعت شعة من نور على زجاج صاف بزاوية ٦٠° مطلوب زاوية الانكسار ج زاوية الانكسار = ٣٨´ ٣٤°

س٣ اذا وقعت شعة على الماس عند زاوية ٦٠° مطلوب زاوية الانكسار ج زاوية الانكسار = ٤٨´ ٢٠°

س٤ استخرج زاوية الانكسار الكلي للماء الذي دليل انكساره ١،٣٣٦ ج ٣٨´ ٤٨°

س٥ ما هي زاوية الانكسار الكلي للزجاج الصافي الذي دليل الانكسار له ١،٥٢٣ ج ٤٩´ ٤٠°

س٦ ما هي زاوية الانكسار الكلي للماس ج ١٢´ ٢٤°

٤٦٣ ان الاجسام الشفافة تختلف كثيراً بعضها عن بعض

في قوة التكسير وقد وضعت القايمة الآتية المعيّن فيها دليل الانكسار لكل من هذه الاجسام التي منها تعرف قوة تكسير النور لجسم بالنسبة الى اخر وهي هذه

| | دليل الانكسار |
|---|---|
| كرومات الرصاص | ٢،٩٧٤ |
| سبيكة فضة حمراء | ٢،٥٦٤ |
| الماس | ٢،٤٣٩ |
| الفصفور | ٢،٣٢٤ |
| الكبريت المصهور | ٢،١٤٨ |
| الزجاج الصواني (جزآن رصاص وجزء صوان) | ١،٨٣٠ |
| كبريتات الكربون | ١،٧٦٨ |
| زيت القرفة | ١،٦٤١ |
| البلّور الصخري | ١،٥٤٨ |
| الكهرباء | ١،٥٤٧ |
| الزجاج الصافي | ١،٥٣٠ |
| زيت الزيتون | ١،٤٧٠ |
| الشب الابيض | ١،٤٥٧ |
| بلّورات فلوريد الكلسيوم | ١،٤٣٤ |
| الحوامض المعدنية | ١،٤١٠ |
| الكحول | ١،٣٦٣ |
| الماء | ١،٣٣٦ |
| الجليد | ١،٣٠٩ |
| التباشير الهندية | ١،١١١ |

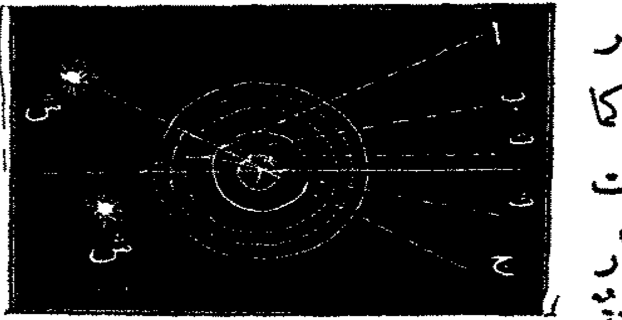
في القايمة المذكورة قد تعينت قوات تكسير النور لاجسام مختلفة بدون اعتبار كثافاتها او اثقالها النوعية وانما الامر واضح انهُ اذا كان لجسمٍ ثقلهُ النوعي خفيف نفس قوة التكسير التي لجسمٍ اخر ثقلهُ النوعي اعظم فالاول لا بد ان يكون فعلهُ المطلق على النور اعظم من الثاني . فاذًا لكي نقيس قوة التكسير المطلقة للاجسام يجب ان نعتبر ثقلها النوعي . فاذا اعتبرنا ذلك يوجد ان الهيدروجين لهُ قوة لتكسير اعظم مما لجميع الاجسام اذ كانت قوتهُ حسب قول العلامة بروستر تساوي ٣٠٩٥٢ . والغاز المذكور هو اشد قابلية للاحتراق من جميع الاجسام . فالاجسام القابلة الاحتراق هي اعظم قوةً لتكسير النور . وبناء على ذلك حكم العلامة اسحق نيوتون ان الماس من المواد القابلة الاحتراق قبل اكتشاف تركيبهِ الكيماوي ثم لما اكتشفوا انهُ مادة كربونية اي فحمية متبلورة في الطبيعة تيقنوا صحة قول نيوتن

٤٦٣ الفجر والشفق . ان الفجر والشفق هما اضاءة الجلد من نور الشمس قبل شروقها او بعد غروبها ببرهة قصيرة وسبب ذلك كون نور الشمس في مرورهِ من الفضاء الى جلدنا يتكسر ولولا ذلك لم يكن لنا فجر ليسبق شروق الشمس ولا شفق ليعقب غروبها ولا اثر نور في الليل بل كان النور ينفجر على ظلمة الليل

بغتةً حينما تظهر الشمس فوق الافق وكانت الظلمة الحالكة تعقب نور النهار بعد الغروب حالاً . فالنور ينحني الى نحونا اذ يقع على الجلَد قبلما نرى الشمس صباحًا ويظهر فجرٌ وبعد ما تغيب مساء ويظهر شفقٌ . وايضاً لما كان النور بتكسيرهِ ينحني الى نحونا عند ما يخترق الجلد وكان الجسم المنير يرى في جهة الشعة الاخيرة مهما تغيرت جهات مسيرهِ نرى الشمس عند الافق او فوقهُ قليلاً قبلما تصل اليهِ حقيقةً

وعلة ذلك تتضح من هذا الشكل لتدل الدائرة الصغرى في الوسط على الارض . ولما كان الهواء عند سطح الارض هو الاكثف ثم يصير الطف فالطف بالابتعاد عنها كما مر يُدَل عليهِ (شكل ٣٤٩ ) بطبقات مختلفة لكي يظهر لك امر الانكسار باجلى بيان . فالطبقة العليا لطيفةٌ جدًّا . وكل طبقة تكون اكثف مما قبلها بالاقتراب الى نحو الارض . فالنور الآتي من الشمس ش تحت الافق الى الطبقة الاولى من الهواء عوض مروره في خط مستقيم الى ا ينحني الى نحو الارض . ثم في دخولها في الطبقة الثانية عوض ان يجري الى ب يميل او ينكسر اكثر اذ كانت هذه الطبقة اكثف وهكذا في كل الطبقات . واذا حسبنا الطبقات رقيقة الى غير نهاية كما هو الواقع ينتج ان مرور النور هو في خط منحنٍ . ولما كان الشبح يُنظَر في جهة الشعاع التي تصل اخيرًا الى العين فالشمس تظهر فوق الافق مع انها حقيقة تحتهُ كما ترى . وهكذا

شكل ٣٤٩



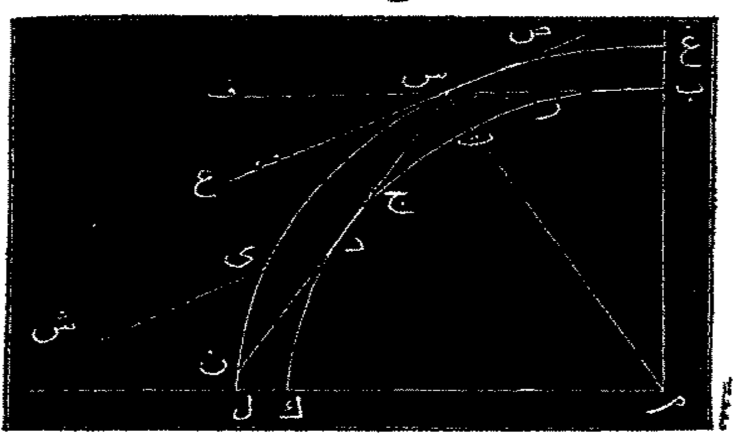
بيبن انهُ اذا كانت الشمس فوق الافق تظهر اعلى مما هي حقيقةً الى ان تصل الى خط الهجر حيث لا ينكسر النور لكونهِ يقع حينئذٍ عموديًّا على سطح الافق ولذلك يميز في الفلك بين طلوع الشمس الظاهر والحقيقي وهكذا الغروب .
فيظهر ان انحناء خط النور من الشمس في الهواء ناتج عن اختلاف كثافة الهواء ولو كان الهواء ذا كثافةٍ واحدة لانكسر النور فيهِ على خط مستقيم كانكسارهِ في الماء والزجاج. ولو امكننا ان نصنع مادةً شفافة مختلفة الكثافة كالهواء تظهر فيها هذه النتيجة عينها

اما السراب او الآل فسبب ظهورهِ تكسر النور باختلاف كثافة الهواء عند سطح الارض من البرودة والحرارة

٤٦٤ ايجاد علو الهواء من الانعكاس . ان الفجر والشفق ليسا ناتجين عن الانكسار وحدهُ بل السبب الاعظم لهما هو الانعكاس . لان الاشعة الآتية من الشمس الواقعة على الهواء قد تنعكس عدة انعكاسات عن سطحهِ الاسفل او عن سطح الارض وعن سطحهِ الاعلى فتنير الجلد قليلاً ويحصل فجرٌ قبل شروقها وشفق بعد غروبها بانعكاسين وتبقي اثر نور في ظلام الليل باكثر من انعكاسين فلا يكون ظلام الليل بغياب القمر حالك جدًّا بلا نور كليًّا . ويكون ذلك بانعكاس الشعاع عن احد السطحين للهواء الاعلى والاسفل بعد اختراقها الجلد لجعلها مع العمود المرسوم من ملتقاها بذلك السطح زاويةً اعظم من زاوية الانكسار الكلي كما تنعكس الشعة ل ن في جهة ن ب (شكل ٣٤٨)

ومن النظر الى هذا الانعكاس نجد طريقة لمعرفة علو الهواء . لنفرض (شكل ٣٥٠) ب ج ك ربع دائرة الارض وغ س ي ل السطح الاعلى للهواء. وب مقام شخص عند خط الاستواء افقهُ الذي يمس مكانهُ ب س ف. ولنفرض

شكل ٣٥٠




ش ي شعةً اتت من الشمس صباحًا وانكسرت سائرةً في خط منحنٍ كالخط المنقّط ى ج كما تقدم ثم انعكست من ج الى س المفروضة نقطة في السطح الاعلى للهواء ثم من س الى ر كانعكاس الانكسار . وعند س مسّت سطح الافق ب س فيكون حينئذٍ بداية الفجر للشخص عند س . وهكذا يقال في الشفق بعد الغروب . فقد راقب المنجمون وقت الفجر والشفق عند خط الاستواء من ملاحظة بداية اختفاء نور النجوم الى شروق الشمس او من غروبها الى ظهور النجوم فوجدوهُ ١٢د ١س. فيكون قد اشرق ضوءها عند الفجر في الجلد بالانعكاس ١٨° قبل وصولها لان الشمس تسير ١٥° كل ساعة. ارسم خطًا مستقيمًا س د يمس الارض في د واخرجهُ الى ن. وارسم المماس ع س ص. وارسم الخط م ت س . فلان د س ف = ١٨° تكون ب س د = ١٦٢° وزاوية الوقوع د س م = ب س م زاوية الانعكاس فتكون ب س م = ٨١° وم ب س = ٩٠° فزاوية ت م س = ٩° فيكون م س قاطع ٩°. ولما كان القاطع يزيد نصف القطر بمقدار ٠١ وكان نصف قطر الارض ٤٠٠٠ ميل

يكون ت س اي علو الهواء ٤٠ ميلاً تقريبًا

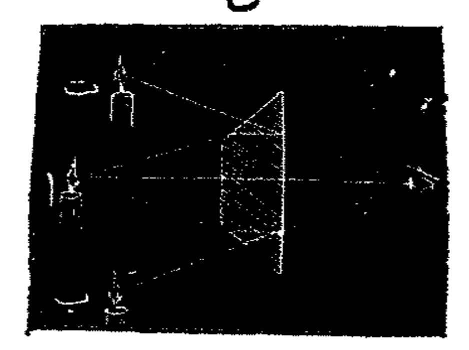
تنبيه . بما ان اعلى طبقات الهواء مادتها لطيفة جدًّا يوهم انهُ لا ينكسر النور ولا ينعكس هناك فقد فرضت س اعلى نقطةٍ انعكس عنها فيكون ٤٠ ميلاً علوهُ تقريبًا وقد اضافوا للاصلاح ٥ اميال فيكون علوهُ ٤٥ ميلاً

٤٦٥ انكسار النور في الزجاج . ان الزجاج باعتبار هيئاتهِ وانكسار النور فيها يقسم الى نوعين ما تحيطهُ سطوح مستوية وما تحيطهُ سطوح منحنية فالاول من هيئات شتى كمضاعف السطوح والموشور المثلث والمتوازي السطوح. والثاني لهُ ست هيئات يقال لها عدسيات وسياتي الكلام على كلٍّ منها

المضاعف السطوح تظهر فيهِ صورة جسم مكررةً بمقدار تكرار السطوح المعرضة لهُ

فالمصباح عند ا ( شكل ٣٥١ ) يرسل اشعةً الى كل من الثلثة السطوح الزجاجية في المضاعف السطوح الذي تراهُ.

شكل ٣٥١



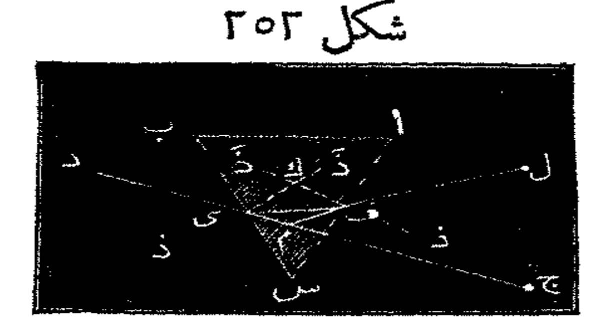

فالتي تقع عمودية عليهِ تجتاز بالاستقامة في الزجاج الى العين بدون تغيير وتصنع صورة في مكانهِ الحقيقي عند ا . ولكن الشعاع الواقعة على السطحين الموروبين تتغير جهاتها بدخولها في الزجاج وخروجها منهُ كما ترى في الشكل فتلاقي العين في جهتي ب و ت وبالضرورة تصنع صورتين اخريين للمصباح عند كلا هاتين النقطتين . والمضاعف السطوح يكون لهُ غالبًا سطوح عديدة مائلة بعضها على بعض وعدد الصور التي تصنعهُ تكرّر بنسبة

تكرار السطوح . وهذا الامر كثيراً ما تجرّبهُ الاولاد بنظرهم فيهِ الى نور مصباح

٤٦٦ الموشور . هو آلة معتبرة في البصريات خصوصاً لانهُ يحل النور ويدخل في اصطناع جملةٍ من الات النور. والمستعمل في الالات هو الموشور المثلث فقط والمفهوم من الموشور في البصريات قطعة زجاج صلد لها جانبان متوازيا الاضلاع متساويان وجانب ثالث يسمى القاعدة . وخط تقاطع الجانبين يسمى الحد والزاوية التي يحيط بها الجانبان يقال لها زاوية التكسير للموشور. والخط المستقيم المار طولاً في مركز ثقلهِ موازياً للقاعدة يسمى المحور. والقطع الذي يصنعهُ سطح عمودي على المحور هو مثلث متساوي الساقين. وغالباً تصنع ثلث زوايا الشكل متساوية كل واحدة منها ٦٠°

هذا الشكل قطع موشور ا ب س قاعدتهُ ا ب و ا س ب زاوية التكسير

شكل ٣٥٢




و د ي حبل من شعاع الشمس واقعاً مائلاً على احد السطحين ب س حيث قسمٌ منهُ منعكس وقسمٌ نافذ في الموشور. اما النافذ فعوضاً عن مرورهِ بالاستقامة الى الامام واصطناعهِ صورة الشمس عند ج يعرّج الى فوق نحو العمود ي ذ ذَ ويلاقي السطح المقابل س ا في ف حيث يعرّج ايضا الى فوق عن العمود ي ذ ذَ في جهة ف ل ناقلاً صورة الشمس من ج الى ل. فان اخرجت الشعة الواقعة والنافذة حتى يلتقيا في م فالزاوية ف م ج يقال لها زاوية الانحراف وهذا الانحراف يكون ابداً الى نحو القاعدة

## ٤٦٧ استخراج دليل الانكسار من الموشور. يُستخرَج دليل الانكسار منهُ بموجب هذه النظرية وهي

**دليل الانكسار الا واحدًا يساوي ابدًا زاوية الانحراف مقسومة على زاوية الانكسار للموشور**

لاجل بيان هذه القضية يلزم ان نذكر انهُ اذا كانت الزوايا صغيرة فنسبتها بعضها الى بعض مثل نسبة جيوبها تقريبًا . واذ كان جيب زاوية الوقوع الى جيب زاوية الانكسار كدليل الانكسار الى واحد كما مرَّ . فاذا افترضنا ن دليل الانكسار فبموجب (شكل ٣٥٢)

ذَ يم ( — د ي ذ ) : ذَي ف :: ن : ١ اي ف ي م : ذَ ي ف :: ن — ١ : ١

و ذَف م (— ل ف ذ) : ذَف ي :: ن : ١ اي ى ف م : ذَف ى :: ن — ١ : ١

فاذًا ف ى م + ى ف م : ذَى ف + ذَف ى :: ن — ١ : ١

اي ف م ج : ذَك ف :: ن — ١ : ١

ولكن ذَك ف و ا س ب متساويتان لان الشكل ذو الاربعة اضلاع ك ى س ف قائمتاهُ عند ى و ف يمكن ان يرسم في دائرة والخارجة حينئذٍ تساوي الداخلة المتقابلة اقليدس (ق ٢٣ ك ٣) فاذًا

ف م ج : ا س ب :: ن — ١ : ١ اي (ن — ١) × ا س ب — ف م ج

اذًا ن — ١ — ف م ج⁄ا س ب (و ن — ف م ج⁄ا س ب + ١

ولما كان في موشورات الزجاج ن — ٣⁄٢ فاذًا ف م ج⁄ا س ب — ١⁄٢ او ف م ج — ١⁄٢ ا س ب اي زاوية الانحراف — نصف زاوية الانكسار للموشور الزجاجي. فلكي نستخرج دليل الانكسار لاي جسم جامد يجب ان يصنع الجسم موشورًا . لانهُ اذ تكون زاوية الانكسار للموشور معروفة وزاويةُ الانحراف تقاس بسهولة نستعلم دليل الانكسار على الفور بقسمة الزاوية الثانية على الاولى واضافة واحد

الى الخارج. وإن كان الجسم مما لا يتاتى باصطناعهُ موشورًا كسائل مثلاً يوضع في موشور فارغ مصنوع من زجاج رقيق صافٍ

٤٦٨ موشور زجاجي قطعةُ قائم الزاوية متساوي الساقين يستعمل غالبًا مكان مرآة او سطح آخر يعكس الشعاع

ليكن ا ب ت قطع موشور كهذا . الشعة ذ ي الواقعة عمودية على السطح ب ت تدخل الموشور بدون انكسار وتلاقي السطح ا ب على زاوية ٤٥°. ولما كان حد زاوية الوقوع التي ينفذ النور ضمنها من الزجاج الى الهواء هي ٤٢° فلا بد ان تنعكس هذه الشعة كليًا وتخرج في جهة ي ث القائم على ذ ي .

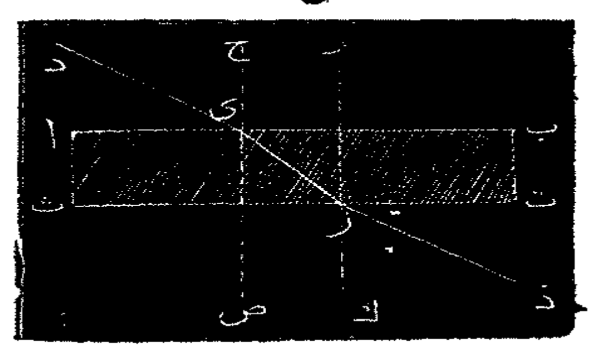
شكل ٣٥٣

وموشور كهذا يعكس الشعاع يستنسب غالبًا ليوضع في آلةٍ بصريةٍ امام العين لاجل تغيير جهة شعاع النور

٤٦٩ نفوذ النور في متوازي السطوح. اذا نفذ النور في مادة تحدها سطوح مستوية متوازية فالشعة الواقعة والنافذة هما متوازيتان

ليكن ا ب ت ث (شكل ٣٥٤) زجاجة او مادة اخرى شفافة تحيطها سطوح متوازية . ولكن ا ب و ث ت سطحين متقابلين . ولتكن د ى الشعة الواقعة منكسرةً في جهة ي ز ونافذة في جهة ز ذ . فالشعة ز ذ تكون متوازية للشعة د ي . في النقطتين ي و ز ارسم العمودين ح ص

شكل ٣٥٤



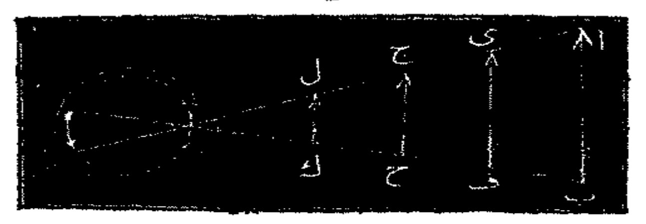
و رك . ثم لما كان ح ص و رك متوازيين فزاوية الانكسار ص ي ز على السطح الأوّل تساوي ي ز ر زاوية الوقوع في السطح الثاني ولكن نسبة جيب ص ي ز الى جيب د ي ح كجيب ي ز ر الى جيب ك ز ذ كما مر فالزاويتان د ي ح و ك ز ذ لا بد ان تكونا متساويتين وبالضرورة متمتاهما اي د ت ز ذ واذا اضفنا الزاويتين المتساويتين اي ز ت ز ي لهاتين تكون كل الزاوية د ي ز تساوي ذ ز ي وبالضرورة الشعتان د ي ز ذ متوازيتان

وقد وجد بالامتحان انهُ اذا نفذ النور في مادتين متحدتين محاطتين بسطوح مستوية ومتوازية فالزاوية الواقعة والنافذة متوازيتان

٤٧٠ زاوية النظر. قبل ان نتقدم الى البحث عن انكسار النور في العدسيات يقتضي ان نبحث عن زاوية النظر لاجل فهم فعل العدسيات في صور الاشباح الواقعة على العين

لتكن ل ك ج ح ي ف ا ب (شكل ٣٥٥) سهاماً امام العين على ابعاد مختلفة جميعها متقابلة لزاوية واحدة مشتركة تعرف بزاوية النظر . فلا يخفى ان

شكل ٣٥٥



النور يرسم على عصب النظر صورة واحدة . فلكي تبقى الصورة على حالها اذا بعد الشبح يقتضي ان يزاد سطحهُ المقابل العين وذلك يكون كما لا يخفى بنسبة زيادة مربع البعد عن زاوية النظر او يقتضي ان يكون القريب اصغر من البعيد بنسبة زيادة مربع البعد . ولما كانت صورة شبح ثابت تتغير كتغير

سطح الشبح فاذا نقل القريب ل ك الى البعيد الثابت ا ب تصغر صورتهُ بنسبة زيادة مربع البعد . والامر واضح ايضاً انهُ اذا بقي الشبح على حالهِ وكبرت زاويتهُ بواسطة ما كتكسر شعاعهِ في عدسيةٍ كما سياتي تكبر صورتهُ

٤٧١ العدسيات . العدسية مادة شفافة تكسر الشعاع متضمنة بين سطحين منحنيين او بين سطحٍ منحنٍ وسطحٍ مستوٍ. ويكثر استعمالها في الالات البصرية لعظم فائدتها كتقريب الاشباح او تكبيرها او تصغيرها او غير ذلك وهي تصنع غالبًا من زجاج وغالبًا تحيطها سطوح كروية وهي ستة انواع كما ترى (شكل ٢٥٦ )

شكل ٢٥٦

اشكال العدسيات



(١) المزدوجة التحديب مثل ا . فانها موءلفة من قطعتي كرة قاعدة الواحدة منطبقة على قاعدة الاخرى . وقد تكون القطعتان من كرتين متساويتين او من مختلفتين

(٢) المفردة التحديب ب وهي قطعة مفردة من كرة احد جانبيها محدب والاخر مستوٍ

(٣) المزدوجة التقعير ث وهي جسم يحيطهُ سطحان كرويان مقعران متساويا التقعير او غير متساويين

(٤) المفردة التقعير ث وهي عدسية احد سطحيها مستوٍ والآخر مقعر

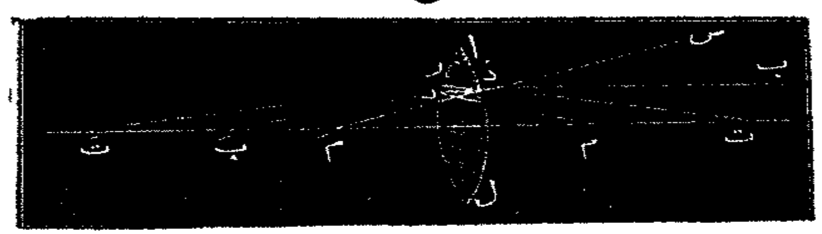
(٥) الهلالية ج وهي عدسية احد سطحيها محدب والآخر مقعر غير ان تقعيرها اقل من تحديبها كما ان هيئة الهلال كذلك ولذلك نُسِبَت اليهِ. وفعلها فعل عدسية محدبة تحديبها يساوي الفرق بين كرويتي الجانبين

(٦) المختلفة الانحناء ح وهي عدسية احد سطحيها محدب والآخر مقعر. ولكنَّ التقعير اعظم من التحديب ولذلك تساوي عدسية مقعرة كرويتها بمقدار الفرق بين كرويتي الجانبين. اما الخط المارّ بمركز هذه العدسيات عموديًّا على سطوحها المتقابلة فيسمَّى محورًا. وسميت هذه الاشكال با لعدسيات تشبيهًا للاولى منها بعدسة والثانية بفلقةٍ منها واتبع الباقي بهما تسميةً للكل باسم البعض

٤٧٣ العدسية المزدوجة التحديب. اذا وقع النور على عدسية محدبة موازيًا لمحورها يجتمع بعد نفوذهِ منها في بورة او وقع عليها منفرجًا يزيد انفراجهُ او وقع من نقطةٍ كان مجتمعًا فيها يقل انفراجهُ

لتكن ا ل عدسية مزدوجة التحديب ومركزا تحديبها م ومَ وليقع عليها

شكل ٣٥٧




الشعة ب ذ موازية لمحورها فبدخولها في الزجاج عوضًا ان يبقى مسيرها على استقامةٍ تنكسر الى جهة العمودي مَ ذ وتصل الى د. ثم عند خروجها من الزجاج الى الهواء من مادة اكثف الى الطف عوضًا ان تبقى جاريةً في مسيرها

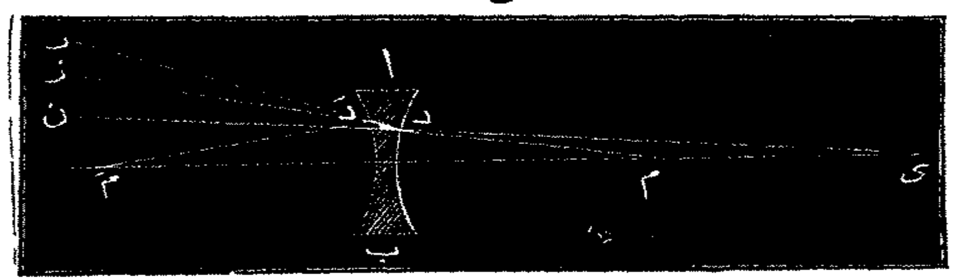
المستقيم تميل عن العمودي م د مخرجًا وتصل الى بَ لما مرّ وهكذا بقية الشعاع المتوازية تجتمع عند بَ في نقطة واحدة تقريبًا وتسمّى بَ نقطة مجتمعها البورة الرئيسة . ثم اذا وقعت شعة من نقطة منيرة في محورها مثل ت ذ فبدل ان تبقى في مسيرٍ مستقيم تميل الى العمودي مَ ذ . فان كانت في البورة الرئيسة الثانية تنفذ من العدسية متوازية للمحور وان كانت اقرب منها الى العدسية تنفذ منفرجة غير ان انفراجها نافذةً اقل منهُ واقعةً وان ابعد منها عنها تجتمع بنقطةٍ في المحور مثل تَ . وتسمى تَ البورة المنضمة للبورة ت . ولكون ذلك يظهر بقياس زوايا الانكسار فلا حاجة الى اظهارهِ ببرهان مستطيل . ثم اذا وقعت شعةٌ مثل س ذ الى جهة المركز مَ لا تنكسر في دخولها اذ تقع حينئذٍ عمودية بل تنكسر في خروجها قليلاً عن العمودي فتكون اقرب قليلاً من مَ الى العدسية ولا يخفى انهُ كلما كانت الشعة الواقعة اكثر انفراجًا من س ذ تصل الى نقطةٍ اقرب الى العدسية وبالعكس . واما الشعة الواقعة في جهة المحور ت تَ فلا تنكسر لوقوعها عموديةً على كلا السطحين المحدَّبين . ولكي يتضح كل ذلك جليًا للدارس نقول انهُ لما كانت الشعاع المارة الى الزجاج في عدسية محدبة تنكسر الى نحو العموديات المرسومة من ملتقاها بسطحهِ التي كلها انصاف اقطار تلتقي بمركز واحد مشترك للتحديب الواقع عليهِ الشعاع والخارجة منهُ تنكسر عن عموديٍ يلاقي مركز التحديب الاخر فالشعاع المتوازية تجتمع والمنفرجة تصير اعظم انفراجًا والمجتمعة تجتمع ايضًا . وكل ما قيل يتضح جليًا بالامتحان بوضع جسم منير امام عدسية وتقريبهِ وتبعيدهِ عنها فانها تظهر صورتهُ على الجانب الآخر ما لم يكن عند البورة الرئيسة او اقرب منها الى العدسية حيث شعاعهُ المنكسرة تصير متوازية او منفرجة فلا يعود يظهر . ثم اذا أُبعد اكثر من ذلك يظهر على الجانب الاخر .

٤٧٢ العدسية المزدوجة التقعير . اذا وقع النور على عدسية

مزدوجة التقعير موازيًا لمحورها ينفرج بعد نفوذهِ منها عن المحور. وإذا وقع من نقطةٍ في المحور مائلاً عليهِ فان كان ابعد من مركز التقعير الى العدسية يزيد انفراجهُ وان كان اقرب يقل وإذا وقع من نقطةٍ فوق المحور منفرجًا عنهُ يقل انفراجهُ

لتكن ا ب (شكل ٣٥٨) عدسية مقعرة ثم باتباع مسير الشعة ي د د دَ دَ ر يظهر ان فعل كلٍ من سطحي العدسية جعل الشعة ان تزداد انفراجًا عن

شكل ٣٥٨



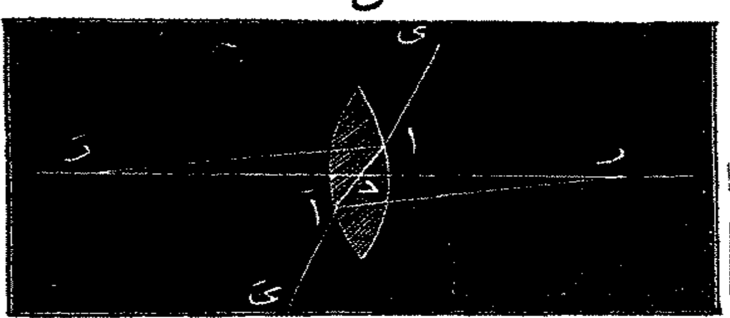
المحور. لان م د ومَ دَ لما كانا نصفي قطري التقعير فالشعة ي د بدخولها الى العدسية عوض ان تاتي الى ن تنكسر الى الخط د ز وايضاً بترك العدسية تنكسر الى دَ ر فالشعاع المنفرجة تصير بهذه العدسية اعظم انفراجًا عن المحور. والامر واضح انهُ اذا اتت شعة متوازية للمحور الى د تخرج منفرجةً. وإذا مرّت الشعاع بمركز التقعير فلا انكسار. وإذا اتت شعة من نقطة بين المركز والعدسية يصير انفراجها اقل مما كان وذلك لان الشعة حينئذٍ تقطع العمودي في جهة تبعد عن المحور فتميل اليهِ وتقرب الى المحور فيقل الانفراج. والشعاع التي تجتمع لو بقي مسيرها مستقيمًا في نقطةٍ خلف العدسية تبعد بتكسيرها فيها. ولكنها قد تجتمع ضعيفةً جدًا قبلما تكون قوة التكسير للزجاج كافية لان تجعلها متوازية او منفرجة

فينتج ان فعل العدسية المقعرة يخالف المحدبة لان هذه تفرّق الاشعة وتلك

تجمعها . وبين العدسية المحدبة والمرآة المقعرة في هذا الامر مشابهة كلية ومثل ذلك بين العدسية المقعرة والمرآة المحدبة. وكما تجمع شعاع الشمس بالمرآة المقعرة الى بورة محرقة هكذا تجمع بالعدسية المحدبة وتفعل هذه مفعول تلك وكما ان المراة المقعرة تكبر الشبح والمرآة المحدبة تصغرهُ هكذا العدسية المحدبة تكبرهُ والمقعرة تصغرهُ كما سياتي

٤٧٤ في عدسية مزدوجة التحديب او التقعير توجد نقطة تسمى مركزها كل شعةٍ تمر بها تكون شعة الوقوع وشعة النفوذ من تلك الشعة متوازيتين

شكل ٣٥٩




لتكن ر رَ (شكل ٣٥٩) المركزين اللذين منهما رسم سطحا هذه العدسة ور د رَ محورها . ارسم اي نصفي قطرين تشاء مثل را رَاَ احدهما يوازي الآخر وارسم ا اَ فالنقطة د حيث هذا الخط يقطع المحور هي المذكورة واي شعةٍ تدخل العدسية في ا وتنفذ من اَ تكون الشعة الواقعة منها ى ا توازي النافذة يَ اَ . وذلك لانهُ لما كان را ورَاَ متوازيتين فالماسان العموديان عليهما عند ا واَ متوازيان ايضًا فكأنَّ الشعة ى يَ وقعت على زجاجة متوازية السطوح فلذلك تخرج متوازية كما مرَّ . وهكذا اذا رُسم اي نصفي قطرين متوازيين اخرين لا تزال الشعة الموصلة بين طرفيهما تمر في النقطة د . وبرهانهُ لان را ورَاَ متوازيان فبمشابهة المثلثات تكون نسبة را : رَاَ :: ر د : رَ د وبجمع النسبة تصير

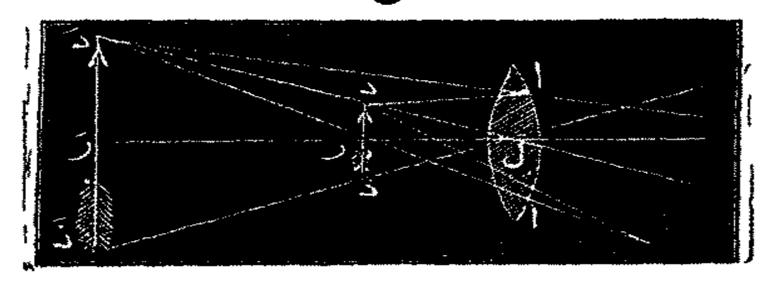
رآ+را : رَا :: رد+رَد : رَد

ثم لان الثلثة الاجزاء في النسبة الثانية ثابتة لكون الاولين نصفي قطرين والثالث محور فالجزء الرابع رَد ثابت ايضاً. فالنقطة د تبقى مكانها مهما تغير وضع نصفي القطرين المتوازيين. فينتج ان جميع الشعاع التي تنفذ في عدسية محدبة في النقطة د الواقعة والنافذة منها متوازية . وهكذا يبيّن في عدسية مزدوجة التقعير

**٤٧٥ الصور بعدسية محدبة** . العدسية المحدبة تصنع صوراً تختلف كيفيتها وحجمها باختلاف وضعها كالمرآة المقعّرة فاذا كان الشبح اقرب من البورة الرئيسة تبقى الشعاع من كل نقطة منفرجة ولكن من نقطةٍ ابعد

مثاله (شكل ٣٦٠) ان كان د ذ الشبح فالشعاع من النقطة العليا د تميل

شكل ٣٦٠



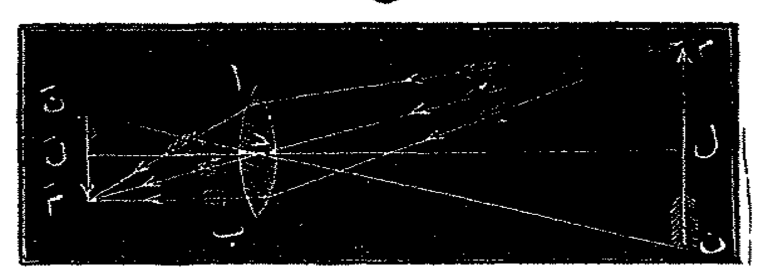

بالانكسار الى المحور فيقل انفراجها كما اذا انفرجت من دَ النقطة الظاهرة في المحور ل د المخرج. وعلى هذا الاسلوب الشعاع التي من ذ تنفرج بعد الانكسار كانها من ذَ. وهكذا كل نقط د ذ تظهر بورات اشعتها المنتشرة في الصورة دَذَ. وهذه هي صورة الشبح الظاهرة التي ظهر ان النور اتى منها مع انهُ بالحقيقة اتى من الشبح . وهي مستقيمة لكون محوري قلمي الشعاعٌ المتطرفين ل د ول ذ لا يتقاطعان بين الشبح والصورة. ومكبرة لانها تقابل نفس زاوية دل ذ ابعد عن

الشبح. وتكبيرها يكون بنسبة بعد الصورة الى بعد الشبح عن مركز العدسية كما ترى

## ٤٧٦ الشعاع الخارجة من شبح تجاه عدسية محدَّبة وابعد عنها من بورتها الرئيسة تتجمع الى نقط مقابلة للتي اتت منها على الجانب الآخر وتجعل صورةً مقلوبةً

لتكن ا ب عدسية محدبة. وليكن م ل ن شبحًا موضوعًا ابعد من البورة

شكل ٣٦١




الرئيسة عنها. فكل نقطة من الشبح ترسل اشعة الى كل الجهات بعضها يقع على العدسية ا ب. فالشعاع التي تخرج من م تجمع الى نقطة نَ على الجانب الآخر من العدسية. والشعاع من ن تجمع الى مَ والشعاع من ل تجمع الى لَ. وهكذا كل نقطة في الشبح تجتمع شعاعها الى النقطة المقابلة في الصورة فتنتسخ الصورة عن الشبح تمامًا. ثم لما كانت الشعاع من راس الشبح ترسم اسفل الصورة ومن اسفله ترسم راسها لكون الشعاع الآتية من طرفٍ منهُ المارة بمركز هذه العدسية تتقاطع وتلاقيها البقية من هذا الطرف غير المارة بالمركز الى الطرف المخالف من الصورة بموجب الانكسار تنقلب الصورة بالنظر الى الشبح

ثم لما كان م نَ ن مَ خطين مستقيمين وم ن ومَ نَ متوازيين فلنا بمشابهة المثلثات م ن : مَ نَ :: ل د : لَ د

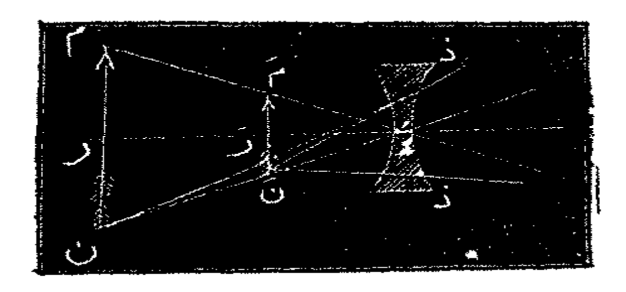
اي قطر الشبح : قطر الصورة :: كبعد هذا عن العدسية : بعد تلك عنها .

فيظهر ان مقدار الصورة لا يتوقف على مساحة العدسية فاذا غطينا جانباً من العدسية لا يتغير جرم الصورة لان بعدها عن المحور يبقى كما كان غير ان لامعيتها تقل وانما يتوقف ذلك على زيادة تحديبها لانها بذلك تجمع شعاع الصورة فتقرّبها وتصغرها مع بقاء الشيح على مقدارهِ وبعدهِ . ويتوقف ايضاً على تبعيد الشيح عن البورة الرئيسة لانهُ اذا كان ابعد قليلاً عنها تكون الصورة على الجانب الثاني اكبر لان الشّعاع حينئذٍ الذي يصنع الصورة على الجانب المذكور يكون قريباً من التوازي فيكون انفراجه اقل من انفراج شعاع الشيح وبالضرورة تكون الصورة ابعد وجرمها اكبر واذا كان الشيح بحيث يكون انفراج شعاعهِ كانفراج شعاع الصورة يكونان متساويين . او كان ابعد من ذلك كما في الشكل فالصورة اصغر

٤٧٧ الصور بالعدسية المقعرة. الصورة تظهر في عدسية مقعرة غير مقلوبة واصغر من الشيح

لتكن م ن (شكل ٣٦٢) الشيح . فالشّعاع من النقطة ن بعد مرورها في

شكل ٣٦٢

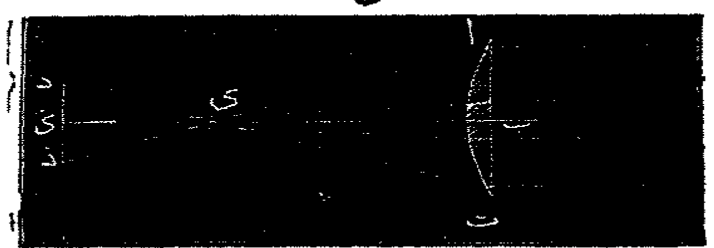



العدسية تنفرج اكثر مما كانت كأنها من نَ في نفس المحور د ن وهكذا في بقية النقط . فتكون مَ نَ الصورة الظاهرة وهي مستقيمةٌ واصغر من الشيح وتشبهُ في كل الاحوال الصورة التي تصنع في مرآة محدبة فراجعها هناك (رقم ٤٧٦)

٤٧٨ الخطا الكروي . اذا وقعت شعاع متوازية من جسم منير بعيد كالشمس على عدسية لاتجتمع بورتها في نقطةٍ واحدة

لتكن ا ب ت عدسية مفردة التحديب سطحها المستوي متجه الى الشعاع

شكل ٢٦٢



الواقعة. وليغطَّ وسطها بقرص من ورق. فشعاع الشمس المارة في الاجزاء عند طرفيها تجمع الى بورة عند ي . فان ازيل القرص وغطيت العدسية بكرتونةٍ ذات ثقب صغير في وسطها تتكون صورة الشمس عند يَ ابعد عن العدسية من ى. فنرى ان الشعاع التي تجتاز مركز العدسية بورتها ابعد عنها من بورة التي تجتاز قرب طرفيها. وان عُرِّض كل السطح للشعاع تكون بورة الشعاع من الطرفين عند ى وبورة التي من المركز عند ىَ وبورات بقية الاشعة تكون بينهما . فتظهر صورة الشمس عند ىَ وما حولها هالةٌ من نور تصير اضعف فاضعف بالابتعاد عنها. فتلك الدائرة من الشعاع التي قطرها د ذ تسمّى الخطا الكروي. وسميت بالخطا لكون بورة الشعاع اخطأَت عن نقطة واحدة ووصف الخطا بالكروي لكونهِ ناتجًا عن كروية سطحي العدسية . وسمي البعد ى ىَ بين بورة الشعاع الآتية من الاطراف وبورة الشعاع من الوسط طول الخطا

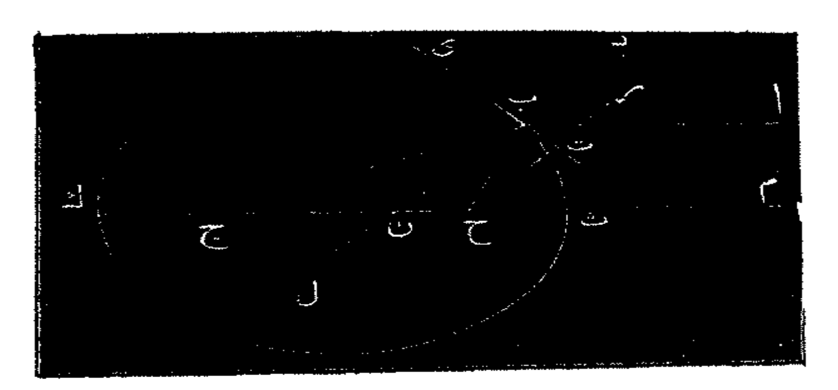
٤٧٩ الخطا الكروي يختلف باختلاف سمك وانحناء العدسيات . فقد وجدوا بالامتحان ان العدسية المفردة التحديب

اذا اتجه سطحها المستقيم الى الاشعة المتوازية فالخطا الكروي لها ٤٫٢ اضعاف ثخنها . واذا اتجه سطحها المحدب اليها فالخطا فقط ١٫١٧ من ثخنها . والعدسيات التي لها الخطا الاقل هي المزدوجة التحديب التي نصفا قطري سطحيها احدهما الى الاخر مثل ١ الى ٦ فاذا اتجه السطح الذي نصف قطرهِ ١ الى الشعاع المتوازية فالخطا يكون فقط ١٫٠٧ من ثخنها . ولذلك تجعل العدسيات المستعملة في الالات البصرية رقيقةً جدًّا والنور يمر في الاجزاء الوسطى منها فقط . ولما كانت علة الخطإِ الكروي قلة تكسير الشعاع عند الاجزاء الوسطى وكثرتهُ عند الطرفين فاذا امكن ان يزاد تحديب العدسية عند الوسط وان يقلل بالتدريج حتى الطرفين يزول الخطا الكروي وذلك يحصل بجعل هيئتها هذلولية او هليلجية كما سترى

٤٨٠ هيئة العدسية التي ليس خطا كروي . العدسية التي هي على هيئة المجسم الهليلجي المصنوع من دوران شكل هليلجي حول محورهِ الاطول الذي نسبة محورهِ الاطول الى البعد بين بورتيهِ كجيب الوقوع الى جيب الانكسار تجعل الشعاع المتوازية الواقعة في جهة محورها تجتمع تمامًا في بورتها القصوى

ليكن ب ث ك (شكل ٣٦٤) الهليلجي المذكور وح وج بورتاهُ . ولنفرض

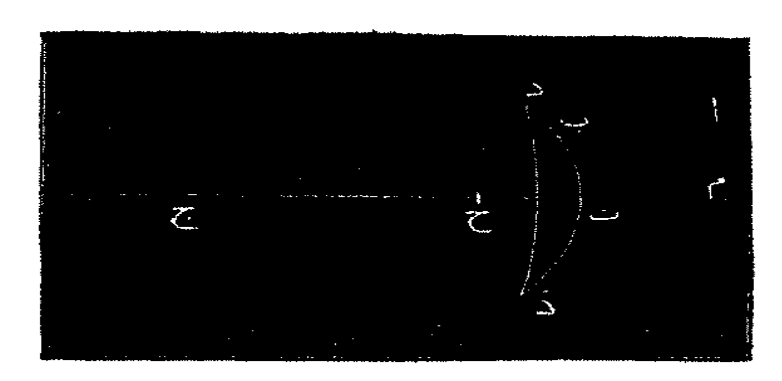
نسبة ث ك : ح ج :: جـ الوقوع : جـ الانكسار. ولتكن ا ب شعة من نور متوازية
شكل ٢٦٤



للمحور ث ك واقعة على الهليلجي ارسم ح ب و ج ب وارسم ب ى يماس الاهليلجي ومن ب و ح ارسم على ى ب ت العمود ب د ب ل و ح ت ر و د ب ل ليلاقي ث ك في ن. اخرج ج ب حتى يلاقي ح ت ر في ر. ثم لما كانت بموجب قطع المخروط ح ب ت = ج ب ى ور ب ت = ج ب ى فاذًا ح ب ت = ر ب ت. ثم ان ب ت ح و ب ت ر زاويتان قائمتان و ب ت مشترك بين المثلثين ب ت ح و ب ت ر فيكون ب ر = ب ح وبموجب قطع المخروط ايضاً ث ك = ج ب + ب ح = ج ر وبالتعويض عن ث ك في النسبة المفروضة اولاً تكون نسبة ج ر : ج ح :: جـ الوقوع : جـ الانكسار. وبما ان ب ن يوازي ر ح تكون نسبة ج ب : ج ن :: ج ر : ج ح :: جـ الوقوع : جـ الانكسار. وايضاً بحسب المثلثات ج ب : ج ن :: جـ ج ن ب : جـ ج ب ن :: جـ ب ن ح او جـ ا ب د : جـ ج ب ن فاذًا جـ ا ب د : جـ ج ب ن :: جـ الوقوع : جـ الانكسار. ولما كان جـ ا ب د هو جيب الوقوع يكون جـ ج ب ن او ج ب ل جيب الانكسار و ل ب ج زاوية الانكسار و ب ج الشعة المنكسرة. وعلى هذا الاسلوب يبين ان ايّ شعةٍ اخرى من الشعاع المتوازية تنكسر الى ج

ثم ان رسم من المركز ج (شكل ٢٦٥) وعلى اي نصف قطر اقل من ج ت قوس دائرة مثل د ذ فالجسم المصنوع من دوران د ت ذ حول المحور

ت ج يكسر كل الشعاع الموازية ت ج الى نقطة ج تماماً. لانهُ بعد الوقوع على
شكل ٢٦٥




سطح د ت ذ تنكسر الشعاع الى نحو نقطة ج كما مرَّ ثم بعد نفوذها في سطح د ذ لا تنكسر لان جميع الواقعة عليهِ حينئذٍ عمودية لانها تتجه الى نحو مركز القوس ج

فينتج ان العدسية الهلالية التي سطحها المحدب قسم سطح مجسَّم اهليلجي وسطحها المقعر قسمٌ من سطح كروي مركزهُ في البورة القصوى ليس لها خطأ كروي بل تكسر الشعاع المتوازية الواقعة على سطحها المحدب الى البورة القصوى. ولما اكتشفت الخصايص السابقة للاهليلجي والتي تشبهها للهذلولي اخذ الفلاسفة يبذلون الجهد الكلي بسن وصقال عدسيات لكي تصير ذات سطوح هليلجية او هذلولية وأُعدَّ آلات ميكانيكية شتى لهذه الغاية. ولكنهم لم ينجحوا في ذلك لصعوبة صقال الزجاج حتى يصير الى الهيئات المشار اليها فلذلك استعملت وسائط اخر لاصلاح هذا الخطإ في العدسيات ذات السطوح الكروية . منها الجمع بين عدسيتين وجعل احد الخطأين المتقابلين يصلح الآخر وبذلك يمكن ان يصلح الخطا في بعض الاحوال الى درجة قصوى وفي احوال اخر يمكن ازالتهُ كلهُ. اما كيفية ذلك فسياتي الكلام عليها في البحث عن النظَّارات

تنبيهٌ . مما مرَّ من الكلام على بعض العدسياتٌ يتضح للدارس خصائص ما بقي منها فلا حاجة الى التكرار

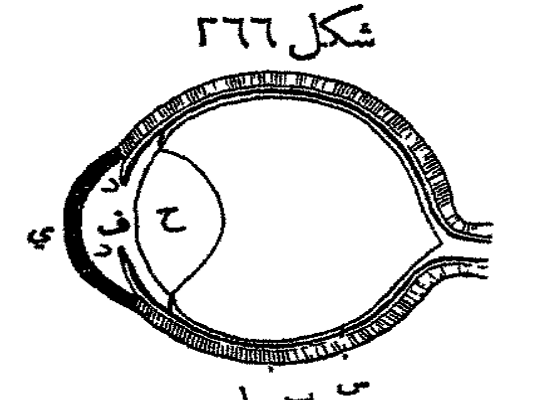
# الفصل الثالث

## في البصر وآلتهِ التي هي العين

٤٨١ العين هي الآلة المعتبرة التي وضعها الخالق عزَّ وجل في الجسد لاجل ادراك المرئيات. وهذا الادراك يعرف بالبصر. وعلة حصول البصر هي النور الآتي من الاشباح المرئية النافذ اليها الذي يرسم صور المرئيات على عصب البصر فيشعر الناظر بها. ولما كان ادراك البحث عنها يتوقف على معرفة تشريحها فلنلتفت الى ذلك بطريقة مختصرة تفي بمقصودنا

فنقول ان العين مؤلفة من ثلاث طبقات وثلث رطوبات وهذا الشكل يرينا صورة قطع مقلة العين وهي الكرة المتضمنة داخل جفونها ووقبها اذا قُطِعت بجارحةٍ يوضع حدها بين موق العين وزاويتها ومرت الجارحة بسطحٍ مستوٍ افقي فترى

شكل ٢٦٦




الطبقة الاولى عندا وهي مؤلفة من الصلبة المعروفة ببياض المقلة والقرنية ى بالامام وهذه متصلة ببياض المقلة اتصال بلورة الساعة بغطائها بكونها اعلى واعظم تحدبًا منها وهي مقطوعة من

راس هليلجي يجمع الشعاع الى بورة واحدة كالذي نقدم الكلام عنهُ ومخلوقةً شفافةً تماماً لكي ينفذ فيها النور

ثم الطبقة الثانية التي تليها ب . وهي مولفة من المشيمية عند ب وهي سوداء مظلمة ومخلوقة كذلك لكي تمنع ازدياد انعكاس النور الى الخلف والامام في العين والقزحية د ذ وهي ذات سطحٍ مستوٍ في وسطهِ ثقبٌ مستدير يصغر ويكبر بواسطة الياف عضلية مستطيلة وحَلَقية لاجل قبول الكمية اللازمة من النور فتضمُّ الحلقية الثقب عند كثرة النور كما اذا نظرت العين الشمس وبالعكس عند قلتها كما اذا كان الناظر في الليل وسمي هذا الغشاء بالقزحية لشبه الوانهِ بقوس قزح

ثم الثالثة وهي غشاء رقيق س عليهِ ترسم صورة الاشباح عند مقدم عصب البصر ويقال لها الشبكية . وهي مؤلفة خصوصاً من خيوط رفيعة تتفرع من العصب المذكور

اما الرطوبات الثلث فاولها الرطوبة المائية وهي المالئة الفسحة ف وتمتد الى امام القزحية وخلفها . فترى هيئتها كهيئة عدسية هلالية وسميت بالمائية لشبهها بالماء

وثانيها ما يقال لها الرطوبة البلورية ح وهيئتها هيئة عدسية مزدوجة التحديب لكن تحديبها الخلفي اعظم من الامامي . ولُقِّبت بالبلورية لشبهها بالبلور في صفائها وشفافيتها . وما ينبهنا بنوعٍ خصوصي الى حكمة باريها كون اجزائها الوسطى مصنوعة اكثف من التي حولها لكي تعظم قوة تكسير الاشعة فيها فيزول الخطا الكروي

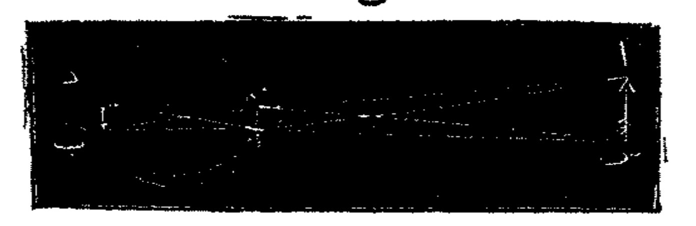
وثالثها الزجاجية المالئة كل التجويف داخل الطبقة الشبكية س . وهي مادة متجمدة قليلاً اشبه بالزجاج . وهذه الرطوبات الثلث مع القرنية خُلِقت شفافة منحنية السطوح لاجل نفوذ النور وتكسيرهِ في العين لكي يتجمع ويطبع

صور الاشباح الخارجة على الشبكية فيشعر الناظر بالمرئيات . فمن يلاحظ ما ذُكر وما سيذكر في العين ولا يتعجب من حكمة وقدرة باريها فهو بليدٌ احمق

٤٨٣ البصر الجلي وحد البصر . انهُ لكي يكون البصر جليًّا يقتضي ان الشعاع الآتية من كل نقطةٍ من الشبح المرئي عند تجمعها تلتقي معًا او تجتمع الى بورةٍ واحدة على الشبكية في العين

فالشعاع التي تاتي من ا تلتقي على الشبكية عند ب والتي من س الطرف الاخر تجتمع الى بورة عند د . فعضلات العين لها قوة وافرة في تدبير العين

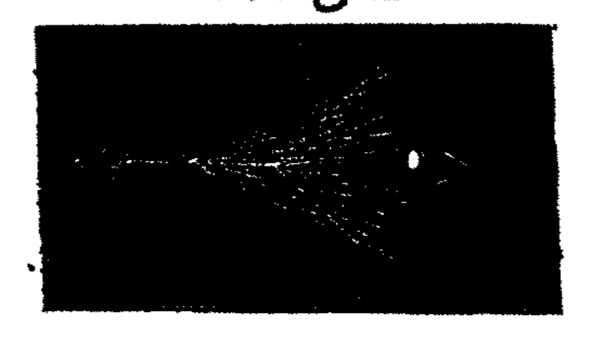
شكل ٢٧٠



لبصر الاشباح على ابعاد مختلفة اذ تزيد تحدب العدسيات فيها للشبح القريب وتقللهُ للبعيد وتبعد الشبكية او تقربها فتجمع الشعاع في اكثر الاحوال على الشبكية تمامًا فليس لها خطاء كروي . غير انها تعجز عن ذلك اذا كانت الاشباح قريبة جدًّا . ويظهر لك ذلك بتقريب شبح كاصبعك اليها بالتدريج فتصل الى حدٍّ لا تعود تراها باجتيازك هذا الحد وهذا ما يقال لهُ حد البصر . وهذا الحد يختلف في الاشخاص قليلاً وانما معدلهُ نحو ٨ قراريط . فاذا كان حد البصر لشخص اقرب من ذلك كثيرًا قيل انهُ قصير البصر او بالعكس قيل انهُ بعيدهُ . وسبب عدم بصر الاشباح اذا قرِّبت الى العين حتى تجتاز حد البصر هو ان الشعاع المنتشرة من كل نقطةٍ فيها الى كل الجهات تنفرج بزيادة تقريبها بحيث لا تعود القرنية والعدسيات تستطيع ان تجمعها بالكفاية لكي تكون بورتها على الشبكية التي هي علة ادراك المرئيات ويتضح لك ذلك من النظر الى (شكل ٢٧٠) . فاذا قُرِّب شبح دقيق جدًّا الى البصر فكلما يقرب يزداد

وضوحًا الى ان يجتاز حد البصر. وعند ذلك تنفرج الاشعة كثيرًا حتى لا تعود العدسيات قادرة ان تجمعها بحيث يكون البصر جليًا كما ترى في الشكل. وحينئذٍ يقتضي استعمال المكرسكوب التي سنذكرها في الكلام على الآلات متوسطة بين الشبح والعين لكي تقلل انفراجها وتكثرها فتساعد العين على ان تبصرها

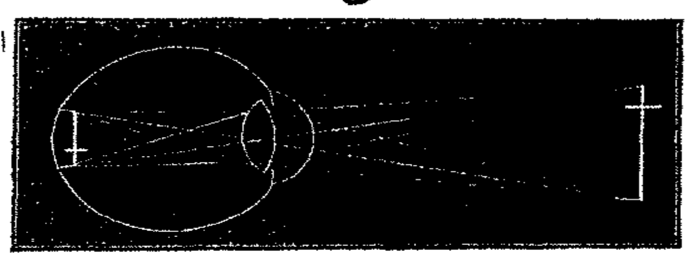
شكل ٢٧١



## ٤٨٢ قصير البصر وبعيد البصر. ان هيئة العين في بعض الاشخاص تجعلها غير قادرة ان ترتب ذاتها حتى تحكم الاشعة بحيث تبصر الاشباح على ابعاد مختلفة

فالقصير البصر يمكنه ان ينظر جليًا الاشباح القريبة فقط. وسبب ذلك هو تجمع الشعاع الى بورة اقرب مما يقتضي بداعي زيادة تحديب العين

شكل ٢٧٣



فلا تصل الى الشبكية كما ترى (شكل ٢٧٣) لانهُ يظهر مما مرَّ في العدسيات انها كلما زاد تحديبها زادت قوتها في تكسير الاشعة وجمعها الى اقرب. وبناء على ذلك لا تكون صور الاشباح جلية لدى قصير البصر. فلو امكن بطريقة ما تقريب الشبكية الى امام او تقليل التحديب في العين لزالت الصعوبة. ولكن اذ كان الاول غير ممكن والثاني قد يصير بزيادة الكبر بعد مضي

زمن طويل يصير اصلاح ذلك بتوسط عدسية مقعرة لان هذه من شانها ان تزيد انفراج الاشعة فتصغر الاشباح وتقربها كما مر فتقاوم قوة العين الشديدة في التكسير

اما بعيد البصر فحالتهُ بالعكس لان قوة التكسير ضعيفة في عيونهِ حتى اذا نظرت اشباحًا قريبة فالشعاع من كل نقطة في الاشباح لا تجتمع في بورة في

شكل ٣٧٢



سطح الشبكية بل اذا اخرجت تجتمع خلفها كما ترى (شكل ٣٧٢) فلا تظهر الصورة واضحة . وتستعمل في هذه الحال الزجاجات المحدبة اذ تجعل الشعاع المنفرجة من كل نقطة اقل انفراجًا قبل دخولها القرنية

٤٨٤ انقلاب الصور في العين . ان الصور التي يرسمها النور الآتي من الاشباح على الشبكية تنقلب بالنظر الى الشبح . ويبرهن ذلك بان تاخذ عين ثور او خروف وتسلخ اللحم عن الجزء الخلفي منها باحتراس مبقيًا قشرةً فوق الشبكة ثم تضع مصباحًا امام العين فتظهر لك صورتهُ منقلبة على الجزء الخلفي منها

واذا سئل هنا لماذا نرى الاشباح مقومةً مع انها ترسم على الشبكية مقلوبةً. فالجواب ان اختبارنا بواسطة حاسية اللمس ولئِن رأيناها مقلوبةً يعوِّدنا على ان نشعر بها مقومةً هذا ما ذهب اليهِ بعضهم .

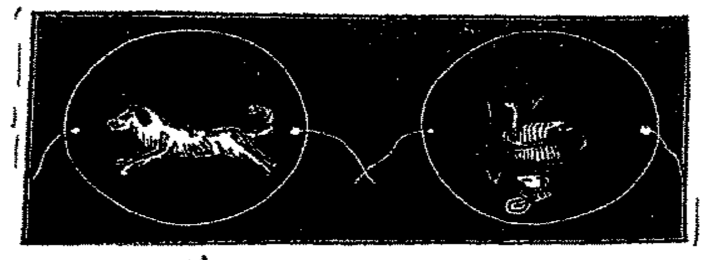
وذهب اخرون ان العصب بعد ان ترسم صورة شبح على الشبكية مقلوبةً يشعر بكل جزء من الشبح على خط مستقيم في جهة محور قلم الشعاع المجموع برطوبات العين كما يبان في ( شكل ٢٧٠ ) وتلك الجهة تقابل جهة الجزء المرسوم في الصورة على الشبكية فيشعر بالشبح مقومًا . لان البصر يدرك بشعاع النور المستقيمة المرئيات وجهاتها كما يدرك السمع بتموجات الهواء الاصوات وجهاتها . فما اتى من النور من اسفل الشبح ورسم اعلى الصورة على الشبكية يشعر بهِ انهُ آتٍ من اسفل وبالعكس ما اتى منهُ من اعلى الشبح . وعندي ان المذهب الثاني هو الصواب بدليل انهُ لو شفي بصر الاكمه اي من هو من ولادتهِ اعمى لاقتضى على الاول ان يبصر اولاً كل شيء مقلوبًا وان يعتمد حينئذٍ على حاسية اللمس في اصلاح الخطا الى ان يعتاد ان يراهُ مقومًا وذلك خلاف الواقع . وعلى المذهب الثاني نرى حكمة الباري الذي لا اله الا هو في جعل شعاع النور ان تسير على خطوط مستقيمة ووضعهُ رطوبات شفافة في العين لكي تجمع الاشعة فتنقلب الصور وتدرك مقومةً كما هي . ولو اتت الاشعة التي من اسفل الشبح الى اسفل العين والتي من اعلاهُ الى اعلاها بعد انكسارها لبانت جميع الاشباح مقلوبةً . فالحكمة هنا بقلب الصورة اذ كان قلبها علةً لابصار الاشباح مقوماً

٤٨٥ البصر المفرد والمزدوج. اذا نظرنا شيئًا با لعينين ترسم في كل عينٍ صورةٌ لهُ وعصب البصر في كلٍّ يرسل صورتهُ الى المخ. ومع ذلك لا يشعر البصر الّاَ بصورة واحدة ما دام العينان احداهما تقابل الاخرى في الوضع وذلك لان الصورة في عينٍ واحدة تقع على شبكيتها نفس موقع الصورة في العين الاخرى وهذا ما يسمى با لبصر المفرد . وتكون احدى العينين تقابل الاخرى تمامًا متى ما لتا الى جهة واحدة معًا الى فوق والى تحت والى الجانبين بدون ادنى خلل . ويتبين لك لزوم هذه المقابلة بكبس الاصبع على احدى العينين في جهة ما اذ تترك الاخرى مطلقة لكي تتحرك الى حيث تحركها العضلات. فاذا فُعِل ذلك يظهر كل شيء زوجًا لان صورتهُ في عين واحدة تستقر على قسم من الشبكية يختلف عن الذي تستقر عليهِ صورة الشيء في العين الاخرى فيحمل العصب الى المخ صورتين وهذا ما يقال لهُ البصر المزدوج. وهذا الشيء نفسهُ يحدث في الحوَل اذ لا تتفق عضلات العينين في فعلها . ولا يكون بصرٌ مزدوج غالبًا في الحوَل المزمن لان العقل يكون قد تعود ان لا يعتبر التاثير الحاصل من العين الحولاء وانما اذا حدث حوَل بغتةً من مرضٍ يحصلُ بصرٌ مزدوج لان التعود المذكور الذي يمنعهُ يقتضي برهةً لاجل الحصول عليهِ

٤٨٦ اثر الصورة في العين . ان اثر الصورة التي يرسمها النور في العين يبقى برهةً قصيرة بعد زوال النور نفسهُ . لانهُ اذا اشعلنا طرف عصًا وادرناها بسرعة تجعل حلقة من نور وذلك ليس الّا لان اثر الصورة بقي على حاسية البصر زمنًا اطول من الزمن الذي بقيت فيهِ النقطة المنيرة في مرورها حول الدائرة . ولهذا السبب ايضًا انصاف اقطار دولاب واجزاء اخر من آلةٍ متحركة بسرعة تظهر سطوحًا غير منقطعة مدة حركتها مع ان هذه الاجزاء مصنوعةٌ مفترقة بعضها عن بعض بينها فرجات متسعة . وكذلك البرق والشهب تظهر راسمةً خطوطًا مستطيلةً من النور لان مرورها في الجلد سريعًا جدًّا فلا تفقد العين اثر الاجزاء الاولى حتى تضاف الاخرى

وعلى هذا المبدا قد اختُرِع لعبةٌ للاولاد يقال لها ثوماتروب من لفظة يونانية معناها ادارة معجبة . ويظهر لك مثالها في ( شكل ٣٧٤ ) الذي يدل على دائرة من كرتون على وجهها الواحد مرسوم كلبٌ وعلى الاخر رجل .

شكل ٣٧٤



وجانبان متقابلان من محيط الكرتونة مربوطٌ فيهما خيطان بهما تحرك الكرتونة بسرعة اذ يمسك كل منهما بين الابهام والسبابة من كلٍ من اليدين . فبهذه

الحركة تدار الصورتان على الوجهين المتقابلين بسرعة امام العين على التوالي. فاذا كانت الحركة سريعة والعين ابقت أثر كليهما فالاثنتان تظهران متحدتين اي ان الرجل يظهر على ظهر الكلب

وعلى هذا المبدا تصطنع الالة التي يقال لها فنتزمسكوب وهي مولفة من خزانات في دائرة حاملة على حدودها صورًا مختلفة بينها نسبة فكل صورة تالية لها علاقة بالسابقة واذا ظهرت جميعها معًا بحركة سريعة تُظهِر رسما غريبًا يتم به عملٌ غريب مبهج. فقد تكون بداية الصور موسيقيٌّ في يدهِ كمنجا وقوسٌ مبتديٌ بتشغيلها. والصورة الثانية قوس مجرورة اكثر فتُظهِر الصورة مجموعًا فيها الصورتان معًا بحركة سريعة حركة قوس كمنجا اعتيادية. وعلى هذا الاسلوب يتم الرقص ولعب الخيَّال وما شاكل ذلك

# الفصل الرابع

## في انحلال النور وما يتعلق بهِ

٤٨٧ الطيف المنشوري. ان النور باجتيازهِ من مادة الطف الى اكثف لا يطرأ عليهِ الانكسار فقط بل انما ينحل او يتفرَّق الى الوانٍ ايضًا تختلف عن لونهِ الاصلي الذي هو الابيض فينحل حبل من شعاع الشمس الى الوانهِ بعد نفوذهِ من منشور او عدسية محدبة او كرة من مادة زجاجية او خلافها من المواد الشفافة. والمنشور

الزجاجي هو الاكثر استعمالاً لاجل اظهار انحلال النور . فاذا دخل حبل الشعاع من ثقبٍ او كوّة الى غرفة مظلمة ووقع على منشور يميل بالانكسار عن حد المنشور كما قد تقرر ( رقم ٤٦٦ ) غير انهُ يظهر ان بعض الشعاع تميل اكثر من البعض الاخر عن طريقها الاصلي . فالحبل الاسطواني المستدير لا يبقى على هيئتهِ بعد مرورهِ في المنشور بل يصير مستطيلاً على هيئة مكنسة واذا وقع على سطح من ورق يظهر لهُ سبعة الوان مرصوفة بعضها فوق بعض على هذا الترتيب البنفسجي اذ يكون ابعد الالوان السبعة عن خط المجرى الاصلي لحبل النور ثم النيلي ثم الازرق ثم الاخضر ثم الاصفر ثم البرتقاني ثم الاحمر . ويسمى هذا الرصيف بالطيف المنشوري او اذا اتى النور من الشمس بالطيف الشمسي

وذلك يتضح من النظر الى ( شكل ٢٧٥ ) . لتكن د الثقبة التي فيها

شكل ٢٧٥




يدخل نور الشمس و ذ الدائرة المنيرة حيث يقع فحالما يعرض المنشور ا ب ت

وحد الانكسار ت لهُ الى تحت يميل حبل النور الى فوق بدخوله في الزجاج وبخروجهِ منهُ ويرسم الطيف على سطحٍ يوضع امام المنشور وترى السبعة الالوان المذكورة كما في الشكل والبنفسجي الابعد عن دذ .وقد نظمت لهُ لاجل حفظهِ وتذكرهِ في الذهن هذه الابيات الثلثة وهي

الوان طيف الشمس سبعةٌ يرى ترتيبها فيهِ كما سيذكرُ
بنفسجيٌ ثم نيليٌ يلي وازرقٌ يليهِ ثم الاخضرُ
واصفرٌ وبرتقانيٌ كذا وفي ختام الكل ياتي الاحمرُ

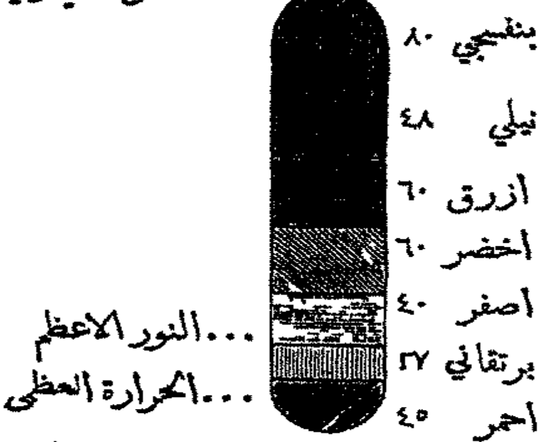
والمسافات المشغولة بالوان الطيف النافذ من منشور زجاجي زاوية انكسارهِ ٦٠° مختلفة. فاذا فرضنا ان طول الطيف ٣٦٠ جزءًا كان الاحمر شاغلاً ٤٥ منها والبرتقاني ٢٧ والاصفر ٤٠ والاخضر ٦٠ والازرق كذلك والنيلي ٤٨ والبنفسجي ٨٠ ثم. اذا ادير حد الانكسار للمنشور الى فوق يميل حبل الشعاع الى اسفل وينقلب ترتيب الوان الطيف فيصبح البنفسجي اسفل وفوقهُ النيلي الخ والاحمر في الراس . وذلك دليل على ان اللون الاحمر هو اللون الاقل انكسارًا والبنفسجي الاعظم وان الترتيب من الواحد الى الاخر يبقى على حالهِ ابدًا

والمنشور يحل النور من اي مصدرٍ كان على الاسلوب المذكور ويرينا فضلاً عما ذكر ان كل جسمٍ منير لهُ نوع من النور خاص بهِ وان الالوان توجد على نسب مختلفة في كل الاجسام المنيرة فلكل نجمٍ طيف يختلف عن طيف الشمس وعن طيف اي نجمٍ من بقية النجوم

## ٤٨٨ شعاع الحرارة والشعاع الكيماوية وشعاع النور . ان في

حبل النور ما عدا الالوان السبعة شعاع حرارة خفية ايضًا.وهذه

الشعاع تكثر تحت الشعاع الحمراء من الطيف وتقل عند الطرف الاخر منهُ اذ كان الثرمومتر يصعد زيبقهُ بوضعهِ (شكل




٢٧٥) على حد اللون الاحمر اكثر مما يصعد في مكانٍ آخر من الطيف ولا يكاد يصعد عند اللون البنفسجي ومن ذلك استدلوا على ان شعاع الحرارة اقل انكسارًا من شعاع الطيف . ثم انهُ يلاحظ ان الكمية العظمى من النور على الحد بين الشعاع البرتقانية والصفراء. ثم في الطيف نوعٌ آخر من الشعاع وهو الشعاع الكيماوية وهي اعظم انكسارًا من شعاع اي لونٍ منهُ . لانهُ ان وضع كواشف مناسبة يكشف عن وجودها وانها ابعد من البنفسجي. وهذه الشعاع هي المعتبرة في فن الديغروتيب انها ترسم الصورة . وكيفية ذلك انهُ يعد لوحٌ معدني بانهُ يدهن بمواد كيماوية ويوضع في قعر الخزانة المظلمة التي سياتي بيانها ليستقبل صورة الشبح الذي يراد تصويرهُ هناك ثم يدخل حبل شعاع من الشبح الى الخزانة ليقع على اللوح المذكور فالشعاع الكيماوية حينئذٍ تتحد بالمواد الكيماوية في اللوح

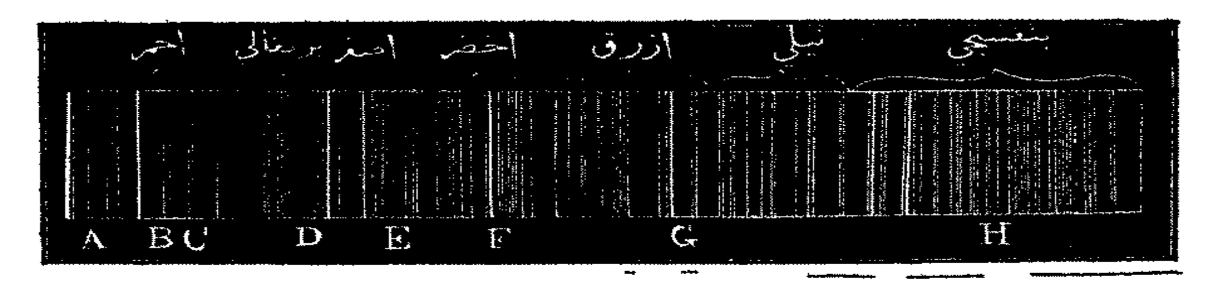
وتلوّنها وترسم صورة ثابتة للشبح . ومن اراد معرفة تلك المواد الكيماويةومعرفة فن الديغروتيب بالتدقيق فليراجعهُ في الكيمياء

٤٨٩ خطوط فرنهوفر . ما عدا الشعاع المذكورة قد لاحظوا من النظر الى الطيف بالمكرسكوب خطوطاً فيهِ عمودية على طول الطيف منيرة بينها خطوط سود . وهي تنتج من وجود بعض المواد في الجسم المنير الآتي عنهُ نور الطيف وتختلف باختلافها . وهذه الخطوط سميت خطوط فرنهوفر نسبةً الى المعلم المذكور وهي تعتبر في فن الكيمياء ادق كاشف عن المواد في جسمٍ ما . لانهُ اذا احرقنا جسمًا وجعلنا حبلاً من نور لهيبهِ داخلاً في غرفة مظلمة يمر على منشور زجاجي ونظرنا بنظارة الى الطيف نكشف عن المواد الموجودة في الجسم بمشاهدة خطوط تختص الوانها ومواقعها وعددها بتلك المواد . ولما كانت هذه الخطوط كثيرة العدد ولا تحفظ في الذهن اذ يعرف منها الان نحو ٦٠٠٠ خط فقد عين المعلم فرنهوفر حروفاً رومانية لبعض الخطوط المشهورة منها ( شكل ٣٧٧ ) التي يعرف بها وجود مواد في الجسم المنير تنتج هي عنها

فاذا كان طيف اللهيب حاملاً معهُ قليلاً من الصود يوم يري فيهِ بالنظارة خط اصفر لامع يقابل الحرف D وان كان فيهِ بوتاسيوم يرى خط احمر يوافق A وخط اخر في اللون البنفسجي بقرب H وان كان فيهِ ليثيوم يرى خط اصفر

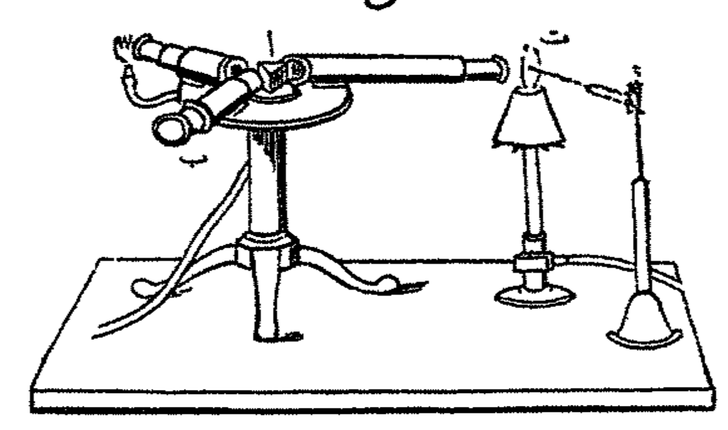
ضعيف بين B و C واحمرقانٍ بين A و B وهكذا تكشف مواد اخر في اجسام

شكل ٢٧٧




منيرة بمشاهدة خطوطها المخصوصة بها وقد سمي هذا العمل بالحل الطيفي والآلة لاكتشاف هذه المواد تعرف بالسبكترسكوب . وهي مركبة من

شكل ٢٧٨



صف من المنشورات موضوع في انبوبة يجتازها النور ويقع على منشور خارج ومن تلسكوب ينظر بها الى الطيف الاخير (شكل ٢٧٨)

٤٩٠ لما كان النور الابيض ينحل الى الوان الطيف السبعة فهو مركب منها . فاذا ركَّبنا تلك الالوان معًا فلا بد انهُ ينتج من المزيج نورٌ ابيض . وقد بيَّن ذلك العلامة نيوتون ببعض امتحانات . منها انهُ مزج معًا سبعة مسحونات ملونة بالوان الطيف المنشوري

فوجد ان للمزيج لونًا اشهب اي ابيض يضرب الى السواد قليلًا.
ومنها انهُ دهن لوحًا مستديرًا بهذه الالوان ووجد انهُ اذا ادارهُ
سريعًا حتى لا تعود تمييز الالوان يظهر لون اللوح ابيض والنجاح
في ذلك اذا اراد احد ان يجرّب هذه التجربة يقتضي ان تلاحظ
نسبة فسحات الالوان بعضها الى بعض. ثم انهُ يمتحن ذلك بطريقة
اخرى وهي ان تجمع الوان الطيف المنشوري بواسطة مرآة مقعرة
او عدسية محدَّبة تستقبل الوان الطيف الى بورةٍ فيظهر المجموع
لونًا ابيض. وكذلك يتبين الامر بانهُ بعد ان يحل النور بمنشور
يوخذ منشور ثانٍ من نفس مادة الاول وزاوية الانكسار لهُ كزاويتهِ
ويوضع بالقرب منهُ بحيث تكون قاعدتهُ حذاء زاوية الانكسار
لهُ فبمرور الطيف حينئذٍ في الثاني يبطل فعل الاول لان اللون
الذي افترق عن غيرهِ بزيادة انكسارهِ في الاول ينضم راجعًا اليهِ
بزيادة انكسارهِ في الثاني الى خلاف جهة الانكسار الاول فيمتزج
الجميع والنور النافذ يرى ابيض وموازيًا للداخل. ووجود
الوان الطيف السبعة معًا ضروري لحصول النور الابيض
من مركبها. ويتبين ذلك من انهُ اذا جعلنا خيطًا او شريطةً
تحول دون اللون الاحمر من الطيف بين الموشور والعدسية ثم
جمعنا الباقي ينتج لون ازرق ناصع واذا حجزنا دون البنفسجي ينتج من

مركب الباقي لون احمر قانٍ وينتج الوان اخر اذا حجزنا دون البقية كذلك

وهذه الالوان اصلية بسيطة ويبرهن ذلك من هذه التجربة وهي خذ منشورًا ثانيًا كالاول واحجز دون ستةٍ من الوان الطيف الحاصل من الاول بحاجزٍ كلوح معدن واجعل السابع ان يمر في ثقب للحاجز ثم عرِّض لهُ المنشور الثاني لكي ينفذ فيهِ فنرى ذلك اللون يبقى بعد نفوذهِ في المنشور الثاني كما كان اولاً. والحاصل من كل ذلك ان نور الشمس او نور اي جسمٍ اخر منير مركب من سبعة الوان اصلية بسيطة تظهر بمنشور شفاف لكون شعاع كل لونٍ من السبعة يختلف مقدار انكسارها فيهِ عن انكسار شعاع الالوان الأُخَر

٤٩١ الالوان المتمة. قد قلنا ان وجود الوان الطيف السبعة معًا ضروري لحصول اللون الابيض من مزيجها. فاذا مُزِج بعضها فقط معًا يكون لون المزيج غير ابيض ومن اختلاف التركيب ينتج الوان لا يحصى عديدها. واذا مزج لونين من المذكورة وكان احدهما مركبًا من بعض الوان الطيف السبعة والاخر من البقية يكون لون مزيجهما ابيض ويسمى احدهما متمم الاخر وكلاهما لونين متممين. مثالهُ اذا مُزِج الاخضر والازرق والاصفر معًا يحصل

والخزام الزرقاء والياقوت الحمراء وهلمّ جرًّا وان الاجسام البيضاء تعكس كل شعاع الوان الطيف فتظهر بلونٍ ابيض والسوداء تمتص جميعها الاَّ قليلاً جدًّا فتظهر مظلمة

٤٩٣ قوة تفريق الطيف . تفريق الطيف هو المسافة من الدرجات بين طرفي طيف الشعاع المنكسرة. وقوة التفريق يدل عليها بالخارج من قسمة التفريق على زاوية الانحراف . مثالهُ اذا كانت مادة تكسر حبلاً من النور ١° ٥′ عن جهتهِ وتفرق البنفسجي عن الاحمر ٤′ فقوة التفريق لتلك المادة ٤/١١١ = ٠٫٠٣٦ والقائمة الآتية تبين قوات التفريق لبعض مواد مستعملة كثيرًا في البصريات

| | قوة التفريق | | قوة التفريق |
|---|---|---|---|
| زيت القرفة | ٠٫١٣٩ | زجاج المرايا | ٠٫٠٣٣ |
| كبريتات الكربون | ٠٫١٣٠ | الحامض الكبريتيك | ٠٫٠٣١ |
| زيت اللوز المرّ | ٠٫٠٧٩ | الكحول | ٠٫٠٢٩ |
| الزجاج البلوري او الصواني | ٠٫٠٥٢ | البلور الصخري | ٠٫٠٢٦ |
| الحامض الميوراتيك | ٠٫٠٤٣ | الياقوت الازرق | ٠٫٠٢٦ |
| الالماس | ٠٫٠٣٨ | بلور الفلور | ٠٫٠٢٢ |
| الزجاج الصافي | ٠٫٠٣٦ | | |

واكتشاف اختلاف درجات قوة التفريق في مواد مختلفة قد ازال صعوبة جسيمة في عمل الالات البصرية لان بهِ عرف طريقة ازالة الخطا اللوني الذي

يليك الصورة كما سترى وكان المكتشف لذلك المعلم دُولُند

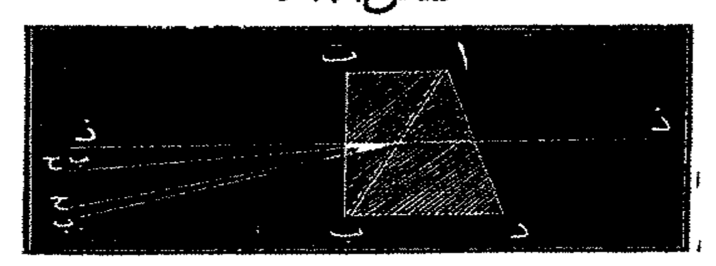
٤٩٤ الخطا اللوني. هو زيغان اللون عن نقطة البورة عند انكسارهِ في عدسية محدبة. والفرق بينهُ وبين الخطا الكروي انَّ هذا انحلال الشعاع عند البورة الى الوان مفترقة بالانكسار وذاك زيغان الشعاع عن البورة لاختلاف الانكسار. فقد يحدث هذا مع وجود ذاك وقد يحدث بدونهِ كما اذا كانت العدسية المحدبة هلالية تحديبها اهليلجي وتقعيرها كروي (رقم ٤٨٠) لان في العدسية خاصية لحل النور الى الوان كالمنشور فتفرق الالوان مع كون الشعاع مجتمعة في نقطة البورة تمامًا. فاذا تغطّى سطح عدسيةٍ الاَّ حلقة ضيقة قرب الطرف وأُرسل حبلٌ من نور في الحلقة يظهر الخطا اللوني واضحًا. لان اللون الاعظم انكسارًا وهو البنفسجي يقع عند بورتهِ اقرب الى العدسية ثمَّ الالوان الأُخر بالترتيب اذ يكون الاحمر الابعد عنها. ولما كان جلاء صورة يتوقف على اجتماع قلم واحد في نقطةٍ واحدة بدون انحلالهِ الى الوانهِ فتفريق شعاع الالوان يجعل التباسًا وعدم جلاء في الصورة. وهاك طريقة اصلاح هذا الخطا

٤٩٥ اصلاح الخطا اللوني. لا يخفى انهُ في الآلات البصرية يقتضي انكسار النور بالعدسيات لاجل تكبير الاشباح او تقريبها

كما سياتي مع بقاء الالوان ممتزجةً لاجل وضوح الصورة . ولاجل الحصول على ذلك رأَوا انهُ بعد ان يكون حبل النور قد انكسر فتفرقت الوانهُ يجب ان تستعمل مادَّةٌ ذات قوة عظمى للتفريق وقليلة التكسير حتى تضم الالوان ايضًا بتكسير حبل النور راجعًا الى جهتهِ الاصلية جزءًا فقط من زاوية الانحراف الاولى . فحينئذٍ تجتمع الالوان ويبقى الانكسار بقدر الفرق

مثال ذلك لنفرض منشورين احدهما من زجاج صافي والآخر من زجاج بلوري اوصواني وكل منهما محكوكٌ حتى تصير زاوية التكسير له تفرِّق الشعة البنفسجية عن الحمراء ٤َ فبناء على ذلك لا بد ان الزجاج الصافي يكسر حبل الشعاع ١٥َ ١° لان قوة التفريق له ٠٫٠٣٦ و ٤َ ÷ ١° ١٥َ = ٠٫٠٣٦ . واما الزجاج البلوري فيكسرهُ ١٧َ ١° فقط لان ٤َ ÷ ١° ١٧َ = ٠٫٠٥٣ قوة التفريق له . ضع هذين المنشورين معًا حدًّا لقاعدةٍ . فان ا ب د الزجاج الصافي يكسر حبل الشعاع ذ ذ الى اسفل ١٥َ ١° والبنفسجي ب ٤َ اكثر من الاحمر ح . وا ب ت

شكل ٢٧٨



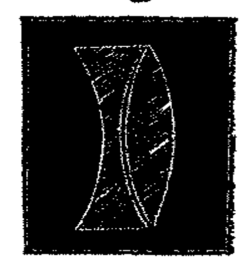

الصواني يكسر هذا الحبل المحلول الى اعلى ١٧َ ١° والبنفسجي ٤َ اكثر من الاحمر وبذلك يعودان ينضمان عند ب ح ويضم ما بينهما كذلك فيرجع الطيف ابيض وحبل الشعاع يكون قد انكسر ١° ١٥َ — ١° ١٧َ = ٣٤َ وهذا الانكسار يكون قد حصل بدون حصول الوان الطيف وهذا هو المطلوب في

الالات. وعلى هذا الاسلوب يُصلح الخطا للعدسيات كما سترى

٤٩٦ اصلاح الخطا اللوني للعدسيات . اذا كان اصلاح الخطا اللوني ممكنًا بمنشورين يكون كذلك بعدسيتين . لانهُ اذا اتحدت عدسية محدبة من زجاج بلوري بعدسية مقعرة من زجاج صافٍ فالاولى تجمع شعاع قلمٍ والثانية تفرقها. فاذا جُعلت المقعرة مناسبة لتفريق الشعاع حتى تجمع الالوان فقط وكانت المحدبة تكسر الشعاع زيادةً عن المقعرة بزيادة انحنائها يصلح الخطا ويبقى النور منكسرًا بمقدار الفرق بين التكسيرين

وعدسية كهذه (شكل ٣٧٩) مولفة من عدسيتين مختلفتي المادة والانحناء مصنوعة لكي تجعل الصورة خالية من الخطا اللوني يقال لها عدسية عدم اللون . وهنا نرى حكمة الباري ايضًا في وضعِ الرطوبة البلورية المحدبة ضمن تقعير في الزجاجية (رقم ٤٨١) لانهُ بحسب ظني جعلها على كيفية عدسية عدم اللون لاجل اصلاح الخطا اللوني في العين

شكل ٣٧٩



تنبيه. قد ذكرنا سابقا انهُ اذا اتحد البنفسجي والاحمر تتحد ايضا سائر الالوان المتوسطة بينهما. ولكنهُ قد وجد ان ذلك ليس بصحيح تمامًا بل انما مواد مختلفة تفرق لونين مفروضين من الطيف بمسافات تختلف نسبها الى كل طول الطيف . وذلك يسمى عدم مناسبة التفريق وبسبب هذا الامر قد يوجد التباك الوان في الصورة بعد اتحاد اللونين المتطرفين. فقد عرف بالاستعمال ان الاوفق جعل الانحناءات مناسبة لجمع هذه الاشعة

# الفصل الخامس

## في قوس السحاب والهالة

٤٩٧ ان قوس السحاب او قوس قُزَح وهي القوس الملوَّنة التي نراها في الجوّ عندما يكون المطر ساقطاً وشعاع الشمس واقعة عليهِ ناتجٌ عن انحلال النور بتكسيرهِ في نقط المطر اذ يقع عليها من الجانب المقابل من السماء وينفذ منها كانحلالهِ بمنشور شفَّاف. ودليل ذلك انهُ اذا ملأْتَ فمك ماء ونَجَتهُ في نورٍ داخل الى غرفة ترى انحلال ذلك النور الى الوان الطيف كقوس قزَح . ولهذا السبب نفسهِ ترى الالوان الجميلة بالنظر الى نقط الندى على النبات او غيرهِ في الصباح اول شروق الشمس قبل ان ينشف عنها الندى وعليهِ قول الشاعر

صاحِ هذا بلبل الاغصانِ صاح * وتلالا الدرُّ في ثغر الاقاح
فاغتنم فرصةَ انسٍ في الصباح * ان وقت الانسِ في الدنيا ثمين

وقوس السحاب اذا كانت كاملة ترى مؤلَّفة من قوسين مستديرتين ملوَّنتين تسميان عند اعتبار تمييز احداهما عن الاخرى

القوس الداخلة والقوس الخارجة او القوس الاصلية والقوس الفرعيه . وكل منها مولفة من جميع الوان الطيف على ترتيب يعاكس الاخر. فالاحمر في الاصلية خارجها واما الخارج في الفرعية فالبنفسجي . والقوس الاصلية أضيق والمع من الفرعية . ومركز القوسين هو عند نقطةٍ من الجلد تقابل الشمس والخط المرسوم من الشمس الى عين الناظر يمر بالمركز وهذا الخط يقال لهُ محور القوسين . والنور الذي يصنع القوس الاصلية ينعكس مرّةً واحدةً داخل النقطة والذي يصنع الفرعية ينعكس مرتين داخل النقطة كما سياتي

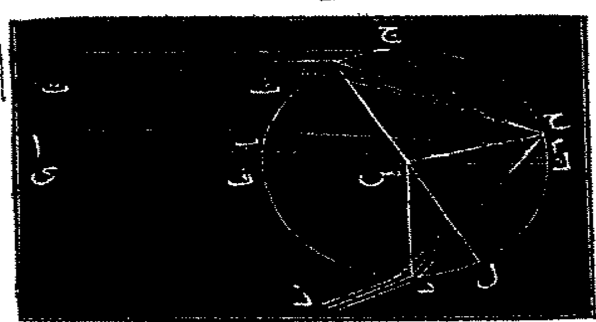
٤٩٨ جهة الشعاع في القوس الاصلية . ان شعاع الشمس النافذة من نقط المطر بعد انعكاسها مرةً فيها المحلولة الى الوان الطيف ومسببة ظهور قوس السحاب الاصلية تجعل مع الشعاع الواقعة زاوية ٢′ ٤٣° للّون الاحمر و١٧′ ٤٠° للّون البنفسجي

وليبان ذلك لتكن دائرة ف ج ك د (شكل ٣٨٠) قَطع نقطة مطرٍ وف ك قطر ذلك القطع وا ب ت ث الخ شعاعًا متوازية من نور الشمس واقعة على النقطة . فان ى ف الشعة المطابقة للقطر لا يعتريها انكسار . وا ب الشعة القريبة الى شعة ى ف تنكسر قليلاً الى نحو نصف القطر حتى تلاقي الوجه الابعد من النقطة على بعدٍ من القطر نحو نصف البعد الذي دخلت منهُ . واما الشعاع البعيدة عن ى ف التي تجعل مع نصف القطر زوايا عظمى فيزداد معدل

انكسارها بزيادة انتقالها عن القطر

فيوجد بالحساب ان الشعاع التي تدخل كل نقطة مطر ابعد عن القطر

شكل ٢٨٠




المتوازي للشعاع من ٦٠° بعد ان يفقد قليلاً منها بانعكاسها عن السطح حيث وقعت تنكسر اكثر من التي تدخل اقرب من ٦٠° الى القطر فتكون الاولى اقرب اليهِ في السطح المقابل من الثانية وان الشعة عند ٩٠° ابعد كل الشعاع عنهُ تنكسر الى قرب ك. وذلك لانهُ اذا فُرِض ان شعةً دخلت على بعد ٥٠° مثلاً عند ث تكون زاوية الوقوع ٥٠° لان ت ث يوازي ى ف. ولان دليل الانكسار للماء ١،٣٣٦ تعرف زاوية الانكسار بهذه النسبة ١،٣٣٦ : ١ :: جـ ٥٠° : جـ الانكسار ٣٥° = ل ث ح واذا دخلت اخرى على بعد ٧٠° تكون نسبة ١،٣٣٦ : ١ :: جـ ٧٠° : جـ الانكسار ٤٣َ ٤٤° واذا فرضنا ث س ف = ٥٠° يكون القوس ك ل = ٥٠° وانما القوس ل ك ح = ٣٥°×٢ = ٧٠° فالقوس ك ح = ٧٠° − ٥٠° = ٢٠° وعلى هذا الاسلوب اذا فرضنا بعد الشعة المتوازية عن القطر ف ك = ٧٠° نتوصل بالحساب ان الشعة الواقعة على السطح ك م ح تبعد عن القطر ٢٤َ ١٩° وهي اقل من ٢٠° فتقع الشعة الابعد من ٦٠° في سطح الوقوع اقرب الى القطر في السطح المقابل وهكذا يبين ان الشعة الماسة عند ج تقع قرب ك. فاذًا اذا كانت الشعة ت ث على بعد ٦٠° من ف فكل الشعاع الواقعة على الربع ف ج تلاقي المحيط بين ح وك في القوس ح ك. ولكن الشعاع القريبة من حد ٦٠° تجتمع في السطح المقابل قرب بعضها والفرق بينها لا يُشعَر بهِ.

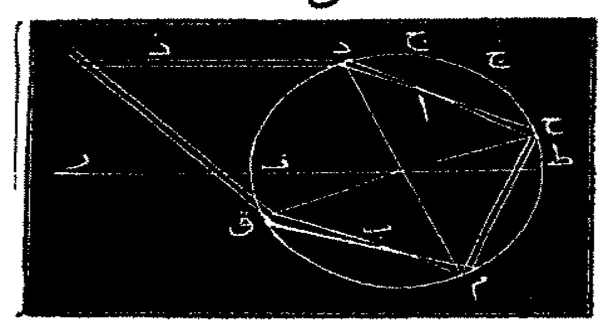
فعدد وافر من الشعاع على جانبي ت ث تلتقي قريبةً جداً من النقطة ك حيث
تقع اشعة ٦٠° وبالضرورة تنعكس من هذه النقطة كميةٌ من الشعاع اعظم من
التي تنعكس من اي نقطةٍ اخرى من القوس ك ج. والامر واضح انهُ اذا رجعت
هذه الشعاع في نفس الخطوط تخرج متوازية قرب ت ث ولكن اذا انعكست
الى الجانب الاخر من نصف القطر س ح فعوض ان ترجع في الربع ف ج تجعل
زوايا متساوية مع نصف القطر وبالنتيجة بعضها مع بعض كالشعاع الواقعة
والمنعكسة وبالنتيجة تلاقي الخط المنحني على الجانب الآخر من المحور ي ك اذ تكون
الزاوية ث ح س = س ح د وتخرج متوازية في خط د ذ. فيظهر ان في قطع نقطة
المطر على الجانب الخلفي نقطةً مخصوصةً حيث تجمع شعاع نور الشمس ثم تنفرج
منها وتنفذ من نقطة المطر وبخروجها وانحلالها الى الوان الطيف كل لون يبرز
حبلاً من شعاع متوازية. وقد وجد بالحساب ان الزاوية التي تجعلها شعاع الوقوع
مع الشعاع النافذة اي الزاوية المتضمنة بين خطي ت ث وذ د اذا اخرجا هي
للشعاع الحمراء ٤٢° ٣َ وهذه صورة الحساب اذ يجعل دليل الانكسار للماء ٤/٣

لان ف س ث = الزاوية الخارجة اذا اخرج س ث التي هي زاوية الوقوع =
٦٠° يوجد بالحساب ان س ث ح = ٤٠° ٣٠َ ١/٢. فاذاً ث ح س او س ح د
او ح د س = ٤٠° ٣٠َ ١/٢. فتكون ح س ث او ح س د = ٩٨° ٥٩َ. وانما
ث س ك = ١٢٠° اذاً ح س ك = ٢١° ١َ. فتكون ك س د = ٧٧° ٥٨َ.
ولكن لما كانت زاوية ح د س = ٤٠° ٣٠َ ١/٢ فزاوية الانكسار الخارجة التي
تجعلها د ذ مع س د اذا اخرج = ٦٠° فزاوية س د ذ = ١٢٠ واذا رُسم من د
خطًّا يوازي ت ث او ى ك يجعل مع س د زاوية = المتبادلة ك س د = ٧٧° ٥٨َ
فالشعة د ذ تجعل مع ذلك الخط المتوازي لخط ث ت زاوية = ١٢٠° —
٧٧° ٥٨َ = ٤٢° ٣َ وهي الزاوية بين الشعاع الحمراء السفلى وشعاع الشمس.
ومن حيث ان تفريق الطيف هنا يكون ١° ٤٥َ فتكون الزاوية بين الشعاع

البنفسجية وشعاع الشمس ١٧َ ٤٠ْ . فيظهر من ذلك ان الزاوية العظمى التي تجعلها الشعاع المنعكسة مرة واحدة فقط في نقط المطر مع شعاع الشمس لا تتجاوز ٣َ ٤٢ْ اذ تكون كل الشعاع على الربع ف ج سواء كانت اقرب او ابعد عن القطر من ث ت عند ٦٠ْ

٤٩٩ جهة الشعاع في القوس الفرعية . انهُ يكون ايضًا عند حدٍّ معلوم تجمُّع للنور الذي يخرج بعد ان ينعكس انعكاستين اذا حسبنا كما حسبنا سابقًا جهة الشعاع الواقعة على الربع ف ج نجد ان

شكل ٣٨١



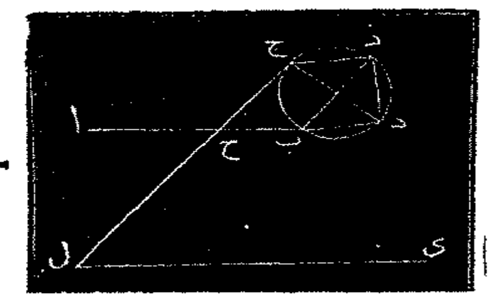

تلك الشعاع ذ د (شكل ٣٨١) التي تدخل عند ٧١ْ او٧٢ْ من المحور ف ط بعد ان تتقاطع في نقطة المطر عند ا تنعكس عند ح جاريةً في خطوط متوازية وبالضرورة بعد انعكاس ثانٍ عند م ونفوذها عند ق ينقلب ترتيب سيرها فتتقاطع ثانيةً عند ب وتخرج متوازية عند ق . فنرى ان حبلاً كهذا يصعد بعد نفوذهِ ويقطع المحور ويجتاز خط ممرهِ الاصلي ويعلو عن نقطة المطر اذ تتقاطع الشعاع البنفسجية والشعاع ذ د بزاوية ٩َ ٥٤ْ والحمراء بزاوية ٥٩َ ٥٠ْ وبقية الالوان بينهما على الترتيب ومن امعن النظر بطريقة حساب الجهة لشعاع القوس الاصلية لا تخفى عليهِ طريقة حساب هذه . ولكي تنزل الشعاع النافذة هنا الى الناظر يقتضي ان تدخل الشعاع الواقعة تحت المحور وتخرج فوقهُ . وهذه الظواهر قد امتُحِنت بتعليق كرة من زجاج فارغة رقيقة مملوة ماء امام شعاع

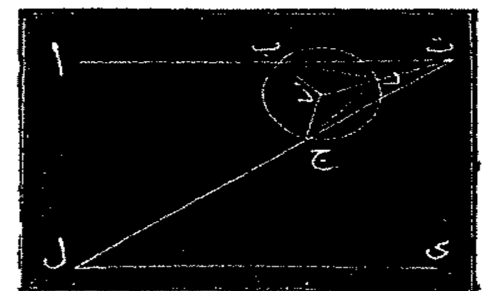
الشمس ومن البحث عنها عند الامتحان توصلوا الى التعليل الصحيح عن قوس السحاب

٥٠٠ محور القوسين. هو خط يُوهَم من عين الناظر الى المركز المشترك لدائرتي القوسين وميل شعاع القوسين على هذا المحور مثل ميلها على الشعاع الواقعة من الشمس

لتدل ا ب د ج (شكل ٣٨٢) على ممر قلم النور الاحمر في القوس الاصلية. فان اخرج ا ب ول ج حتى يلتقيا في ت فالزاوية ت اعني ٢ ٤٢° هي ميل

شكل ٣٨٣ شكل ٣٨٢



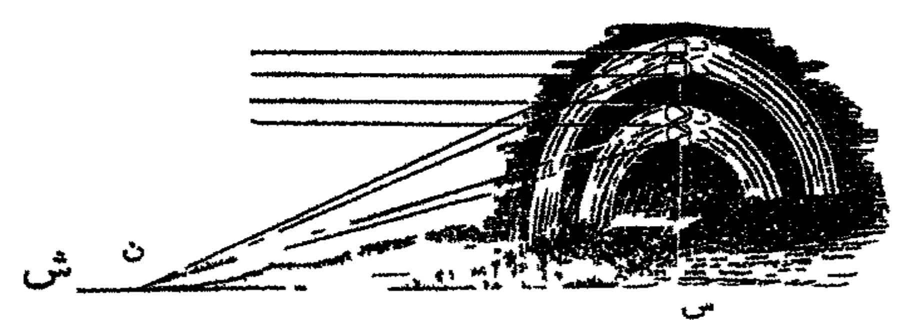




الشعاع الواقعة على الشعاع النافذة الحمراء. لنفرض ان الناظر عند ل وليُرْسَم خطٌّ من الشمس مارٌّ بموقعهِ الى ى فذلك الخط يُحسَب متوازيًا للشعة ا ب ولذلك الزاويتان ل وت متساويتان. ولما كانت ى تقابل الشمس فاللون الاحمر يرى على بعد ٢ ٤٢° في الجلد من النقطة ى وهكذا بعد كل لونٍ من ى يساوي الزاوية التي تجعلها شعة ذلك اللون مع الشعة الواقعة. وعلى هذا الاسلوب ان رسمت ل ى في القوس الفرعية من الشمس الى عين الناظر (شكل ٣٨٣) فهي توازي ا ب ومقدار بعد الشعة الملونة عن ى من الدرجات يساوي الزاوية عند ح ميل شعة الوقوع على شعة النفوذ. فيقال للخط ل ى محور القوسين لما سياتي بيانهُ في الرقم التابع

٥٠١ الهيئة المستديرة للقوسين. لتكن ش ن س (شكل ٣٨٤) خطاً مستقيمًا

مارًّا من الشمس في عين الناظر عند ن الى النقطة المقابلة في الجلد. ولتكن ذن ودن الشعاعين المتطرفتين اللتين بعد انعكاسةٍ واحدة تاتي بالالوان الى

شكل ٣٨٤




العين عند ن وذَن ودَن اللتين تظهران الالوان بعد انعكاستين ثم حسب ما مرّ (رقم ٤٩٨ ورقم ٤٩٩) ذن س = ١٧ َ ٤٠ ْ ودن س = ٢ َ ٤٢ ْ وذَن س = ٥٩ َ ٥٠ ْ ودَن س = ٩ َ ٥٤ ْ. ولما كانت هاتان الزاويتان لا تتغيران باختلاف جهات الشعاع الآتية الى العين اذ تجريان على ناموس الانكسار فالشعاع النافذة اذًا جميعها ترسم سطحي مخروطين راساهما في العين عند ن ودائرتا الالوان كما تظهران في السحاب محيطا قاعدتيهما وش ن س محورهما المشترك يمرّ بعين الناظر. فشعاع قوسين تظهر في مكان واحد ليست هي نفس الشعاع في مكان اخر ولو قريبًا منهُ ونقط المطر النافذة منها الشعاع ليست هي للقوسين في اكثر من مكان واحد لان المحور يختلف باختلاف المكان فيختلف المخروطان فكل ناظر يرى قوسين خلاف ما يراهما غيرهُ في غير مكانهِ

ثم انهُ في موقع مفروض للناظر امتداد القوسين يتوقف على ارتفاع الشمس. فان كانت على الافق فالقوسان نصفا دائرة وان كانت اعلى فاقل لان مركزيهما ينخفضان تحت الافق بمقدار ارتفاع الشمس فوقهُ. على انهُ ان كان المطر قريبًا حينئذٍ فقد ترى الاجزاء السفلى من القوسين ممتدة كاقواس اهليلجي او شلجمي او هذلولي لان سطح الارض يقطع المخروطين بالوِرب. وقد شوهدت القوسان من راس جبل دائرتين تامتين

٥٠٢ انقلاب ترتيب الالوان في احدى القوسين بالنظر الى الاخرى. اما سبب ذلك فيظهر من اعتبار هذا الامر وهو انهُ في القوس الاصلية الشعاع التي تنزل الى عين الناظر تنفذ من الربع الاسفل او الداخل من نقطة المطر وتميل بالانكسار الى فوق عن نصف القطر المخرج مارًّا بنقطة النفوذ او الى خارج القوس اذ تنفذ في الفرعية من الربع الاعلى او الخارج وتميل عن نصف القطر الى اسفل. فان الشعة ذ ن (شكل ٢٨٤) من الاصلية المفروض كونها بنفسجية هي الاعظم انكسارًا ولذلك سائر الشعاع من تلك النقطة تسقط الى تحتها وتقصر عن الوصول الى العين. واما الالوان الاخر فتاتي من نقطٍ فوقها فالبنفسجي اذًا هو اللون الذي يرى اقرب الى المحور. واما الشعة ذَ ن في الفرعية فهي البنفسجية والالوان الاخر اذ تكون اقل ميلاً عن نصف قطر النقطة المخرج مارًّا بنقطة النفوذ تقع فوق ذَ ن. ولذلك لكي تصل الوان اخر الى ن يقتضي ان تنفذ من نقطٍ سفلى اي نقطٍ اقرب الى المحور. فالبنفسجي هو اللون الخارج من القوس الفرعية. وبالاختصار العين ترى الوان القوس الاصلية ضمن زاوية ٤٥′ ١° والبنفسجي اسفل لانهُ فيها اقل ميلاً من سائر الالوان على المحور وترى الوان الفرعية ضمن زاوية ١٠ ٣° والبنفسجي اعلى لانهُ اعظم ميلاً على

المحور

٥٠٢ اضاءة السحاب تحت القوس الاصلية وفوق الفرعية واسودادها بينهما

انهُ قد وجد بالحساب كما مرَّ ان الشعاع الواقعة والنافذة اذ تنعكس انعكاسةً واحدةً لاتجعل احداهما على الاخرى ميلاً اعظم من ٢´ ٤٢° للنور الاحمر و١٧´ ٤٠° للبنفسجي لان هذا الميل تجعلهُ الشعاع الواقعة عند بعد ٦٠° من محور نقطة المطر. واما ما وقعت فوق ذلك او تحتهُ فتجعل ميلاً اقل من ٢´ ٤٢° الى ٠° كما يستنتج مما مرَّ. ولذلك كل النور المنعكس مرةً واحدة ياتي الى العين من داخل القوس الاصلية واذا انعكست الاشعة انعكاستين فزاويتا ٥٩´ ٥٠° و٩´ ٥٤° هما بالحساب اقل ميلين للنور الاحمر والبنفسجي. وقد يكون الميل اعظم من ذلك الى ان يصل الى ١٨٠°. فلذلك الشعاع المنعكسة مرتين تاتي الى العين من اي جزءٍ كان من الجلد الاَّ بين القوس الفرعية ومركزها. فاذن يظهر انهُ لا نور منعكس مرةً او مرتين من النقط داخل المنطقة الواقعة بين القوسين يمكن ان يصل الى العين. والمراقبة تؤكّد ما تقرَّر لانهُ متى كان القوسان لامعتين فالمطر داخل الاصلية ألمع مما في مكان آخر وخارج القوس الفرعية توجد لامعية اعظم مما بين القوسين

حيث السحاب اظلم من سحاب مكانٍ اخر

٥٠٤ القوس المثلثة. هي قوس سحاب تصنع بانعكاس النور في نقط المطر ثلث مرات وموقعها الى جهة الشمس من الناظر بخلاف القوسين المار ذكرهما لانهما تكونان الى خلاف جهة الشمس. وذلك لان الشعاع التي تنعكس ثلث مرات لايخفى انها ترجع الى جهة مسيرها الاول. وارتفاعها عن الشمس نحو ٤٠° ٤٠″ والشعاع الواقعة التي تكوّنها تدخل نقط المطر على بعد نحو ٧٧° من محورها وتنفذ من الجانب الخلفي. ولكن هذا النوع من قوس السحاب ضعيف جدًا بداعي تكرار الانعكاسات وموقعه غير مناسب فلا يرى الاَّ نادرًا

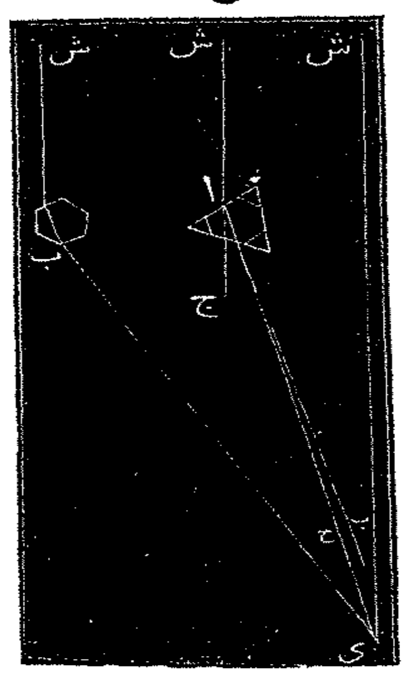
٥٠٥ الهالة الاعتيادية. هي كما تُرى غالبًا حلقةٌ مستديرة حول الشمس او القمر وحدها الداخل احمر وخارجها ابيض وما بينهما امزجة الوان متقطِّعة وكثافتها من داخل الى خارج تتناقص بالتدريج الى ان تصير بانارة الجلد والفسحة الداخلة اظلم من الخارجة وبعد حدها الداخل عن الشمس المحسوبة مركزًا لها نحو ٢٢° وحدها الخارج الذي لايميَّز نحو ٤٢°. وقد عرِف انها مكوَّنة من النور المنكسر ببلورات الجليد العائمة في الهواء. وتتكون متى اشرقت الشمس او القمر على جَلَدٍ مبيضٍّ قليلاً بضباب لطيف.

وتفرق التي للقمر عن التي للشمس ان حدها الداخل يظهر لونهُ ضعيفًا او لا لونَ لهُ

٥٠٦ كيفية تكوُّن الهالة. ان نور الشمس او القمر يكوّن الهالة بوقوعهِ على بلورات جليد في الجلد ذات اجناب ميل بعضها على بعض ٦٠° وبانحلالهِ بالانكسار الى الوانهِ

ولايضاح كيفية ذلك لنفرض العين عند ى (شكل ٣٨٥) والشمس في جهة ى ش. ولتكن ش ا ش ب الخ شعاع واقعة على بلورات اتفق انها استقرت بحيث تكسر النور الى ش ي كمحور. فكل بلورة تميّل الشعة عن حد التكسير عند دخولها فيها ثم عند تركها اياها تحيد ايضًا ويخل القلم السافذ. اما اللون الذي ياتي من كلٍّ من البلورات المذكورة الى العين ي فيتوقف على بعدها من الدرجات عن الخط ي ش وعلى موقع زاوية التكسير لها. فزاوية الميل للبلورة ا هي

شكل ٣٨٥



ى ا ج ـ ش ى ا وللبلورة ب هي ش ى ب وهلم جرًّا. وقد وجد بالحساب ان الميل الاقل للنور الاحمر ٤٥َ ٢١° والميل الاقل للبرتقاني يقتضي ان يكون اعظم قليلاً لانهُ اعظم انكسارًا قليلاً وهلم جرًّا للالوان على الترتيب. والميل الاعظم للشعاع غالبًا هو نحو ١٢َ ٤٢°. فكل النور المرسل من بلورات كهذه اذًا لابدَّ ان ياتي الى الناظر من نقطٍ بين هذين الحدين ٤٥َ ٢١° و١٢َ ٤٢° من الشمس. وانما الجزء الاعظم منهُ كما تحقق الامر بالحساب يجتاز بالحد الاقرب

٥٠٧ استدارة الهالة. اما سبب استدارتها ان ما يحدث على جانبٍ واحد من ي ش يحدث على كل جانب . او بعبارة اخرى لنفرض الشكل د ا ر حول ي ش كمحور فالنور المرسل يظهر حلقةً حول الشمس ش . اما كون الحد الداخل من الحلقة احمر مثل ح (شكل ٣٨٥) فلكون هذا اللون يميل اقل .ثم على الحد الخارج من الاحمر البرتقاني ممزوجًا معهُ وبعد ذلك الاحمر والبرتقاني والاصفر ممزوجةً . وهلمَّ جرًّا حتى توجد كل الالوان عند الزاوية العظمى للبنفسجي ولكن ليس على نسبٍ متساوية

# الفصل السادس

## في الالات البصرية

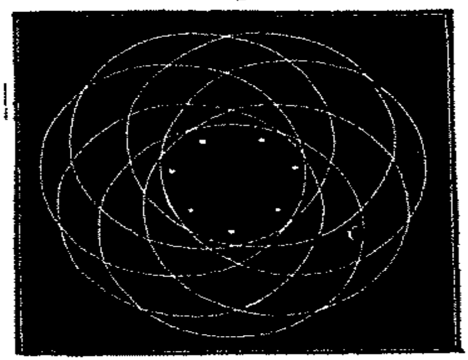
٥٠٨ انهُ من معرفة الخواص الطبيعية للزجاجات ذوات السطوح المستوية والمنشورات والعدسيات في تكسير النور قد اختُرِع الات بصرية شتى لاجل تكبير الاشباح وتقريب البعيد منها وانجلائها للنظر وغير ذلك . ولما كانت هذه الآلات مهمة ومعتبرة جدًّا عند الطبيعيين لعظم فوائدها اذ بها يراقب المنجم

الاجرام السموية ويرى الطبيعي عالمًا من الحيوانات لا يظهر بالنظر المجرَّد ويبصر الطبيب ما لا يدركهُ بصرهُ من الاعضاء الدقيقة والشرايين والاعصاب الى غير ذلك يقتضي ان نلتفت اليها بامعان نظر. ولما كانت كثيرة العدد نقتصر على الاهم منها. وقبل ان نبتدئ بذكرها يلزمنا ان نتكلم عن دخول النور من ثقب الى اماكن مظلمة

٥٠٩ دخول النور من ثقب. انهُ اذا دخل حبل نور من الشمس الى غرفة مظلمة في ثقب صغير او وقع على حائط او طلحية ورق قبال الثقب بعيدًا عنهُ يصنع صورة مستديرة مهما كانت هيئة الثقب

لنفرض ان الثقب كبيرٌ قليلاً قطرهُ نحو عقدة وهيئتهُ مثلث او شكل غير قياسي فصورتهُ تكون مستديرة. لانهُ اذا افترض ان الثقب الكبير تحوَّل الى ثُقَبٍ صغرى كثقبة الدبوس ويمكن ان يفعل ذلك بسهولة بوضع صفيحة معدنية فوق الثقب كصفيحة من رصاص مثقَّبة بدبوس فشعاع الشمس المارَّة في هذه الثقب تكون حينئذٍ بلا شك مستديرة. ولكن الثقب الكبير غير القياسي يمكن ان يحسب مؤلفًا من ثقب صغرى كهذه الصفيحة المعدنية التي يمكن ان توهم مثقبة بعدد غير محدود من ثقب الدبوس فتوهم الصورة على الحائط مولفة من مجموع صور الشمس هذه كلها مختلطة بعضها مع بعض ومحدودة بخطوط منحنية لا يحصى عديدها

شكل ٢٨٦



موءلّفة من دوائر مستقلة كما ترى ( شكل ٣٨٦ )

ولكن ان كان الحائط او طلحية الورق قريبا من الثقب فهيئة الصورة تكون كهيئة الثقب . وذلك لان الشعاع غب مرورها في الثقب يقتضي الحال ان تنفرج انفراجًا عظيمًا قبل ان ترسم دوائر كبيرة يتالف من محاطها المختلطة شكل مستدير

ثم ان كان السطح الذي ترسم عليهِ الصورة غير موازٍ للثقب تكون الصورة حينئذٍ هليلجية اذ كانت قطع مخروط موروب على محورهِ

قد ترى احيانًا صور للشمس على الارض من الفرجات الصغيرة بين ورق الاشجار . ومدة كسوف الشمس ترسم هذه الصور هيئة الكسوف

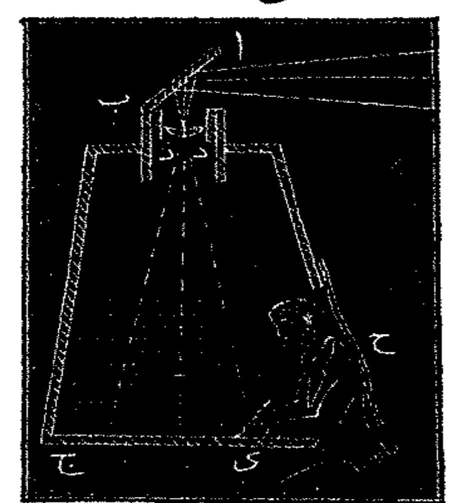
اذا وجد اثقاب مختلفة قريبة بعضها لبعض كما اذا كانت ثلثة مثلاً منها يدخل نور الشمس الى غرفةٍ مظلمة تلاحظ اولاً على بعد معلوم ثلثة دوائر منيرة ممتازة . وعلى بعد اعظم هذه الثلثة دوائر تاخذ تختلط واخيرًا بتكبيرها بالكفاية تتحد فتكون دائرة مفردة

ثم اذا ادخل عوض حبل من نور الشمس الى غرفة مظلمة من ثقب شباك مثلاً نور منعكس عن اشباح مختلفة خارجًا ترسم على الحائط المقابل صور مقلبة لهذه الاشباح. لانهُ مما اتضح سابقًا يعرف انهُ من كل نقطة في الشبح تصدر شعاع لا تحصى من النور وتقع على الشباك . غير انهُ لا تدخل الثقبة الصغيرة الاّ ما كانت منها قريبةً بعضها الى بعض اذ كانت الشعاع الاخر تنفرج الى ابعد مما يقتضي دخولها فيها فلا تمتزج اشعة من نقطٍ مختلفة في الشبح في نقطة واحدة في الصورة. وانهُ لامر ضروري لاجل جلاء الصورة ان الشعاع الصادرة من كل نقطة في الشبح تجتمعَ في نقطٍ مقابلة فيها وتكون هناك خالصة من تمزيج الشعاع من النقط الاخرى ولاجل لمعان الصورة يجب ان ينبعث قدر ما يمكن من الشعاع من كل نقطة في الشبح الى النقطة المقابلة لها في

الصورة . فجلاء الصورة اذًا يقتضي ان تكون الثقبة في مصراع الشباك صغيرةً والاَّ تقع اقلام النور من نقطٍ مختلفة بعضها على بعض فتتلبك الصورة واما لمعانها فيقتضي تكبير الثقب لدخول شعاع كثيرة ويمكن ان يتحن ذلك بتصغير الثقب وتكبيرهِ . فيجب ان يجعل الثقب مناسبًا لكليهما

٥١٠ الخزانة المظلمة . هي على مبدا الغرفة المظلمة المذكورة وهي آلة مؤلفة من صندوق فارغ مظلم مثل د ذ ج ي

شكل ٣٨٧



( شكل ٣٨٧ ) لا يدخل اليهِ النور الاَّ من ثقبة واحدة مدخلٌ فيها العدسية د ذ لهُ باب على جانبهِ مغطى بحجاب من قماش اسود ح ومركَّز عليهِ مرآة ذات سطح مستوٍ ا ب . ولانهُ لاجل جلاء الصورة يقتضي الامر تصغير الثقبة فتقل الشعاع الداخلة الى الخزانة المذكورة ويضعف لمعانها حينئذٍ توضع العدسية س د في الثقبة فتجتمع الاشعة كانها آتية من ثقب صغير مع كونها كثيرة وتنير الصورة للمصوِّر . والمرآة ا ب موضوعة مائلة على سطح الافق ٤٥° لكي تعكس الاشعة الآتية من الاشباح البعيدة وترميها على العدسية التي تجمعها وترميها على ورقةٍ في قعر الخزانة على بعد مناسب فيرسم المصور بقلمهِ الصورة التي ترسمها هذه الشعاع . وهذه الصورة لا بد ان تكون مقلوبة بالنظر الى الصورة في المرآة . فاذا وقف شخص قبال المرآة ا ب يرى صورتهُ افقية كما تقدم وهذه تنقلب على قعر الخزانة بدخول الشعاع اليها وتكسيرها بواسطة العدسية . فاذا راجعت وتاملت في ما قلناهُ بشان العين ترى ان العين اشبه شيء بخزانة مظلمة اذ كانت ذات ثقبة يدخل منها النور ويتكسر ويتجمع بعدسيات رطوباتها ويرسم الاشباح الخارجة مقلوبةً على قعرها الذي هو شبكيتها كالخزانة المظلمة . وهنا نرى لماذا

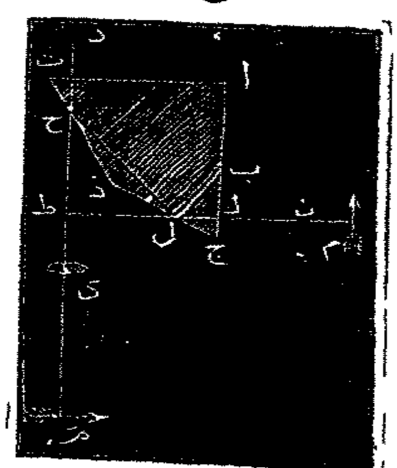
حكمة الباري قد اقتضت ايجاد عدسيات في العين لانهُ اذا كبر ثقب الحدقة لدخول نور كافٍ تتلبك الصورة بدون العدسيات ولكن بواسطتها يجمع النور الوافر الآتي من ثقب كبير كانهُ آتٍ من ثقب صغير فتنجلي الصورة فلا تتلبك

وقد تبلّل الورقة المرسوم عليها الصورة في قعر الخزانة بمزيج كيماوي يتلوّن باتحادهِ بالنور فيصنع النور الصورة راسًا بدون قلم المصور . وذلك العمل يقال لهُ الديغروتيب . وبما ان فن الديغروتيب من متعلقات الكيميا نعرض عن الكلام بشانهِ فانظر اليهِ في آخر فصل النور من كتاب الكيميا تاليف العلامة فنديك الاميركاني

## ٥١١ الخزانة النيرة

هي آلة يستعملها المصورون لرسم صورة ارض وما حوتهُ كصورة مدينة او بيت وغير ذلك اخترعها العلامة ولستن . وهي مصنوعة من موشور زجاجي ذي اربعة سطوح ت اج ذ لهُ زاوية عند ا = ٩٠° وزاوية عند ج ٦٧½° وزاوية عند ذ ١٣٥°. فلاجل رسم صورة الشيء يوضع جانب الموشور ا ج موازيًا للشيء م فشعة النور الافقية ن ل لا تنكسر لكونها واقعة عمودية على ا ج ولكنها تستمر مستقيمة في مسيرها الى ان تقع على السطح ج ذ حيث تجعل معهُ عند ل زاوية ٢٢½° متمّ زاوية ج . فاذا رسمنا عمودًا ل ب على سطح ج ذ تكون زاوية ب ل ك = ٦٧½° وهي اعظم من ٤١° ٤٩′ زاوية الانكسار الكلي للزجاج فلا تخرج الشعة ك ل كما مرَّ ( رقم ٤٦١ ) بل تنعكس الى ح في السطح ت ذ جاعلة زاوية الوقوع ك ل ج = زاوية الانعكاس ح ل ذ فكل منها = ٢٢½° وبما ان

شكل ٢٨٨



مجموع هاتين الزاويتين ٤٥° فالباقية ن ل ح = ١٣٥°. ثم لما كانت ذ مفروضة ١٣٥° وذ ل ح = ٢٢ ½° تكون الباقية ذ ح ل = ٢٢ ½° فلا تنفذ الشعة ل ح بل تنعكس الى د. ولان ت ح د = ٢٢ ½° ايضاً لكونها زاوية الانعكاس وتساوي ذ ح ل زاوية الوقوع فزاوية ل ح د = ١٣٥°. اخرج د ح الى مَ واخرج ن ل حتى يلاقيه في ط فتكون كل من زاويتي ط ل ح و ط ح ل منتم ١٣٥° - ٤٥° وبالنتيجة تكون ح ط ل ٩٠° فيظهر اذاً الشبح العمودي م للعين عند د على سطح افقي عند مَ على بعد خلف السطح العاكس ت ذ يساوي ح ل + ل م امامهُ كما لا يخفي مما مرَّ. ولذلك يضعون عدسية محدبة عند ى مثلاً لكي تجمع الشعاع وتقرِّب الصورة مَ. فاذا عمل تدبير للمنشور حتى تكون الشعة النافذة قريبة جدًّا من نقطة الزاوية ت فالعين المستقرة عند د تميز الصورة والورقة المرسومة عليها اذ ترى الاولى بالمنشور والثانية بالبصر راسًا. وغالبًا توضع امام الوجه اج زجاجات ملونة لاجل تلوين نور الشبح المقصود رسمهُ. وهذه الالة الجميلة توضع في علبة ولها ادوات مختلفة لكمال فائدتها غير اننا قصدنا هنا ان نبين المواد الجوهرية لمعرفة مبداها

## ٥١٣ المكرسكوب او نظارة التكبير البسيطة

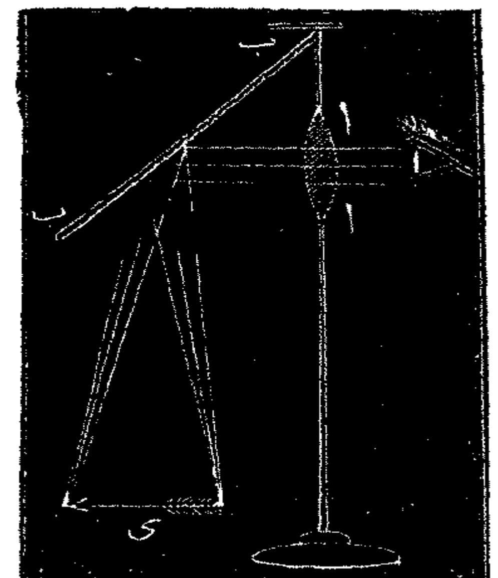
هي آلة لتكبير الاشباح الدقيقة جدًّا لكي يميزها البصر. فاذا اردنا ان نفحص بمجرد العين شبحًا دقيقا على بعد حد البصر منها فالصورة المرسومة على الشبكية صغيرة جدًّا فلا يشعر بها واضحًا. وان قربنا الشبح الى العين حتى تصير اقرب من حد البصر تنفرج الشعاع كثيرًا فلا تجمع بوراتها على الشبكية ولا يكون البصر جليًّا كما مرَّ في العين ولكن ان توسطت عدسية محدبة ذات انحناء مناسب مع كونهِ اقرب من حد البصر تستطيع العين ان تدرك ذلك الشبح الدقيق لوقوع بورات شعاعهِ حينئذٍ على الشبكية. ولما كان حد البصر ٨ عقد كما مر فالعدسية التي ترينا اياهُ على بعد اقل من ٨ عقد توسع

اقطاره وحدوده عما يرى عند حد البصر بنسبة ٨ الى ذلك البعد اي ان وسعهُ يتغير بالقلب كبعدهِ اومساحة سطحهِ تتغير بالقلب كمربع بعدهِ . فاذا كان بعد الشيح عن العدسية عقدة مثلاً يكون قد اتسع قطرهُ ٨مرات او ١٠/١ عقدة فثمانون مرة . وقد اصطُنع عدسيات من حجارة كريمة بعد بورتها التي يرى منها الشبح ٥٠/١ من عقدةٍ فقط . فقد يستعمل عدسية محدبة ضمن حلقة من معدن او من قرن حيوانٍ ذات مسكة او عدسيتان معًا او ثلثة كذلك لاجل تعظيم الاشباح الصغيرة . وتلك ما يقال لها المكرسكوب البسيطة

## ٥١٣ زجاجة المرئيات

هذه الآلة نوعٌ من المكرسكوب البسسيطة . وهي مؤلفة (شكل ٣٨٩ ) من عدسية كبيرة محدَّبة ومرآة مستوية .

شكل ٣٨٩



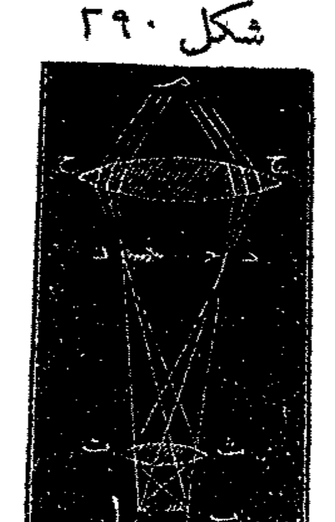
فالعدسية ا ا موضوعة في عمود او في جانب صندوق قائمة على الافق وخلفها المرآة المستوية ب ب مائلة عليهِ ٤٥° لكي يرى بها الشبح النائم واقفًا . والشبح المرئي ي موضوع افقيًا تحت المرآة . فاذا كان مجتمع البعد منهُ الى المرآة ومن ثم الى العدسية اقل من بعد البورة الرئيسة للعدسية تظهر الصورة خلف المرآة منتصبة مكبرة واذ كانت الاشباح حول هذا الشبح يحجز دونها الصندوق تظهر الصورة كانها الشبح الحقيقي

## ٥١٤ المكرسكوب او نظارة التكبير المركبة

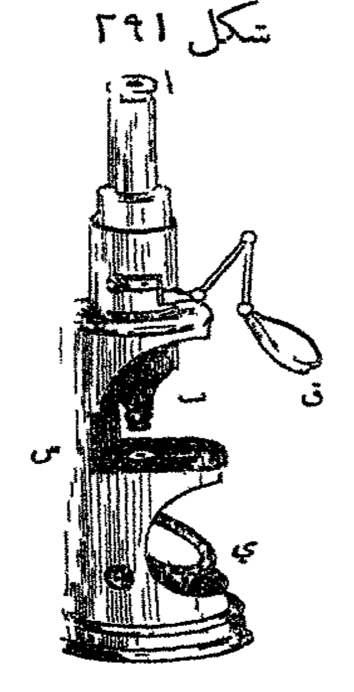
هي آلة لتكبير الاشباح كالمكروسكوب البسيطة . واجزاؤها الجوهرية

عدسيتان محدبتان احداهما ث ت (شكل ٢٩٠) تسمى زجاجة الشيء والاخرى ج ح تسمى زجاجة العين. والشيء الصغير ا ب المطلوب تكبيرهُ يكون على بعد عن ث ت اعظم قليلاً من بعد بورتها الرئيسة فتحصل لهُ بواسطتها صورة مكبرة مقلوبة ذ د (رقم ٤٧٦) ثم ان زجاجة العين ج ح توضع بحيث تكون الصورة ذ د اقرب قليلاً اليها من بورتها الرئيسة فتراها العين التي توضع عند م على الجانب الذي هي فيهِ ولكنها تظهر اكبر (رقم ٤٧٥). فيظهر الشيء مكبرًا جدًّا لان زجاجة الشيء جعلت صورتهُ اكبر منهُ وزجاجة العين كبرت تلك الصورة فيكون قد تكبر مرتين. فاذا كان قطر الصورة ذ د عشرة اضعاف ا ب ونُظرت عن بعد هو جزءٌ من عشرين من بعد البصر الاعتيادي تكون قوة الآلة للتكبير تكبر القطر ٢٠٠ ضعف او مساحة وجههِ المنظور ٢٠٠^٢ او ٤٠٠٠٠ ضعف. وتسمى دائرة الفسحة المنظورة في المكرسكوب ساحة النظر

شكل ٢٩٠



شكل ٢٩١

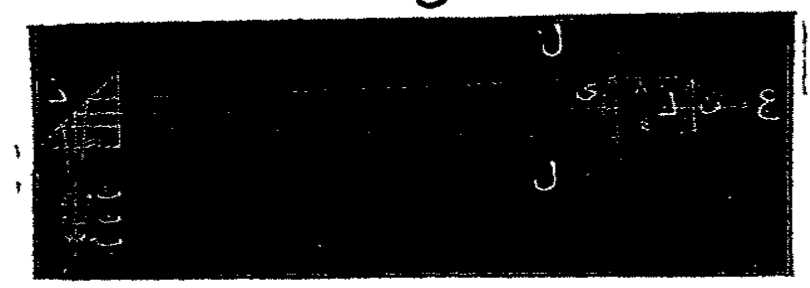



في هذا الشكل ترى صورة المكرسكوب المركبة الدارجة. فان ا ب الانبوبة المحتوية العدسيات التي ذكرت قبيل هذا. و س العمود لاجل ارتكاز الانبوبة عليه. و د برغي به ترفع الانبوبة او تنزّل عند ما يراد توقيع بعد البورة. و ي مرآة تعكس نور مصباح او نور الشمس لاجل انارة الشيء. و ق عدسية محدبة تستعمل بدل المرآة. وقد تستعمل هذه العدسية لمكرسكوب بسيطة ذات

عدسية واحدة محدبة ويقال لها حينئذٍ المكرسكوب الشمسية

٥١٥ اذا قُصد اصطناع آلة المكرسكوب لكي تكون ذات قوة وافرة للتكبير فبداعي الخطا الكروي واللوني تكون الصور غير جلية . ولازالة ذلك قد اصطنعوا آلةً مثل التي في هذا الشكل . فان الشبح هو ب وزجاجتا

شكل ٣٩٢



الشبح هما ت وث وهما عدسيتان مفردتا التحديب كل منهما مؤلف من عدسية زجاجٍ صواني مفردة التقعير واخرى من زجاجٍ صافٍ مزدوجة التحديب لاجل ازالة الخطإِ اللوني كما مرَّ ( رقم ٤٩٥ ) . وذ منشور قائم لاجل امالة الشعاع عن جهة سمتيةٍ الى جهة افقية بانعكاس في زاوية الانكسار الكلي . وي و ن هما زجاجتا العين وجعلتا اثنتين لكي تنقصا الخطأ الكروي . والعين عند ع ترى الشبح ك مالئًا الزاوية بين الخطين المنقطين ل ل

## ٥١٦ التلسكوب او نظارة التقريب

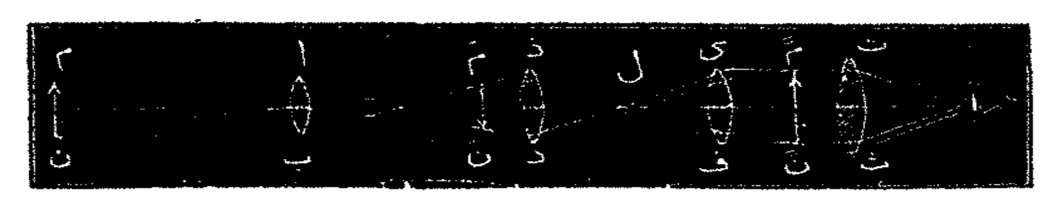
التلسكوب هي آلةٌ لاجل تقريب الاشباح البعيدة للنظر لكي تري اوضح مما ترى بالنظر المجرد . وهي نوعان لان صورة الشبح المنظور اما ان تتكون فيها اولاً بمرآة مقعرة ثم تستعمل مكرسكوب بسيطة لاجل نظر الصورة كما اذا كانت جسمًا صغيرًا واما ان تصطنع بعدسية ثم تنظر بعدسية اخرى . ويقال للاولى تلسكوب الانعكاس وللثانية تلسكوب الانكسار

## ٥١٧ التلسكوب الفلكية

تظهر مقلوبة اذ كان قلب صورة الاجرام السموية لا يضر بمراقبتها لاستدارتها . وانما لاقتضاء ظهور صور الاشباح الارضية مقوَّمةً يلزم ان يضاف عدسيات اخر على الموضوعة في النظارة الفلكية لكي نقوِّم الصورة الاخيرة . فالتلسكوب المصنوعة هكذا تسمى تلسكوبًا ارضية او نظارة ارضية

في هذا الشكل م ن الشبح و ا ب زجاجة الشبح وم َ ن َ الصورة المقلوبة اقرب قليلاً من البورة الرئيسة و ذ د زجاجة العين الاولى التي تجعل شعاع كل

شكل ٣٩٤



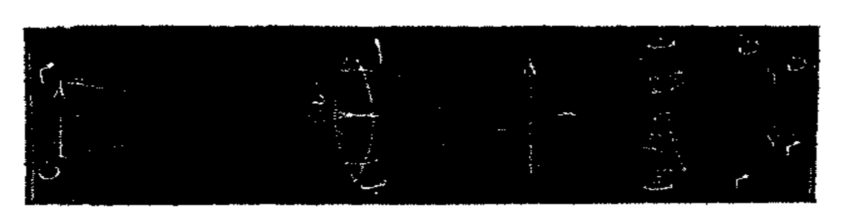
قلم متوازية غير انها تجمع الاقلام نفسها الى ل . فعوضًا ان توضع العين عند ل كما في النظارة الفلكية توضع زجاجة عين ثانية ي ف لكي تجمع الاقلام بعد تقاطعها الى نقطٍ في صورة اخرى م ً ن ً . وهذه الصورة هي مقومة لتقاطع الاقلام عند ل . وزجاجة العين الثالثة ت ث مكرسكوب بها تتكبر الصورة م ً ن ً . والآت كهذه تصنع غالبًا من مقدارٍ يناسب للحمل ولاجل جعلها انسب للحمل والنقل تصنع غالبًا من انابيب مفترقة تدخل بعضها في بعض دخولاً محكمًا

٥١٩ تلسكوب غليليو

هذه التلسكوب المنسوبة الى غليليو هي اول نوع تلسكوب اخترع اخترعهُ العلامة المذكور . وتختلف عن التلسكوب الفلكية الدارجة بكون زجاجة العين لها عدسية مقعرة . وفي هذا الشكل نتضح كيفية اصطناعها . فان زجاجة الشبح

المحدبة تجمعَ الاشعة م ا م ذ الاتية من راس الشبح الى نحو مَ اسفل الصورة والاشعة من اسفل الشبح ن ذ ن ب الى نحو نَ راس الصورة . ولكن قبل ان

شكل ٢٩٥



تصل هذه الاقلام الى نقط بوراتها تعترضها العدسية المقعرة ت ث التي تجعل الشعاع المتجمعة لكل قلم منفرجة ثم تاتي الى العين . والشبح يظهر عند مَ نَ بالعين مقوماً لان القلم من راس الشبح لا يزال يظهر آتياً من اعلى والذي من النقطة السفلى من اسفل . وانما بداعي زيادة انفراج الاقلام العديدة تدخل الوسطى فقط الى العين ولهذا السبب ساحة النظر محدودة . والشبح يظهر اكبر مما هو بمقدار الخارج من قسمة بعد بورة زجاجة الشبح على بعد بورة زجاجة العين وذلك يتبرهن كما تبرهن في قوات التلسكوب ( رقم ٥١٨ ) . واكثر ما يستعمل هذا النوع من التلسكوب صغيراً لاجل الحمل في الجيبة والنظر الى اشباح ارضية كالتي تكون في المراسح عند الحاجة

## ٥٣٠ تلسكوب الانعكاس

انهُ في تلسكوب الانعكاس تتكوَّن صورة شبح في بورة مراة مقعرة وتلك الصورة تكبَّر بزجاجة العين . وانواع تلسكوب الانعكاس مختلفة نذكر منها نوعاً واحداً وهو الاكثر استعمالاً وهو الذي يسمَّى تلسكوب كراكري نسبةً الى المعلم كراكري من سكوتلاند المخترع الاصلي . فالنور من الجرم السموي اذ يدخل الانبوبة المفتوحة اب ث ت (شكل ٢٩٦) يقع على المراة المقعرة ي ى ا التي تصنع بها صورة مقلوبة م ن عند البورة الرئيسة وبعد ان تتقاطع اشعة كل قلم عند نقط هذه الصورة تقع على المراة المقعرة د د ا التي الصورة ابعد عنها قليلاً من بورتها فتصطنع صورة ثانية مَ نَ

ابعد من مركز تقعيرها مقلوبةً بالنسبة الى الاولى (رقم ٤٥٤) وبالضرورة مقومة باعتبار الشبح. وهذه الصورة الثانية هي في انبوبة العين آ بَ تَ ثَ حيث يكون قد شكل ٣٩٦



اجتاز النور من ثقب في مركز المراة الكبيرة. وزجاجة العين لاجل نظر هذه الصورة عند آ بَ في طرف الانبوبة الصغيرة. وهربًا من الالتباك في الشكل قد رسم اربعة شعاع فقط وهذه الاربعة من مركز الشبح . وهذه بعد ان تنعكس عن ى ى تجتمع عند مركز الصورة الاولى وبعد انعكاسها ثانيةً عن د د تلتقي عند مركز الصورة الثانية. اما الشعاع من راس الشبح فتدخل الانبوبة وتنعكس الى تحت وتجتمع عند ن اسفل الصورة الاولى وراس الثانية اذ تجتمع الشعاع من اسفل الشبح عند م في الصور الاولى وعند نَ في الثانية. ولا تعترض المراة د د دون النظر الى اي جزء من الشبح لان شعاع كل نقطة تنتشر الى كل جهة غير انها تنقّص قليلاً نور كل نقطة من الصورة

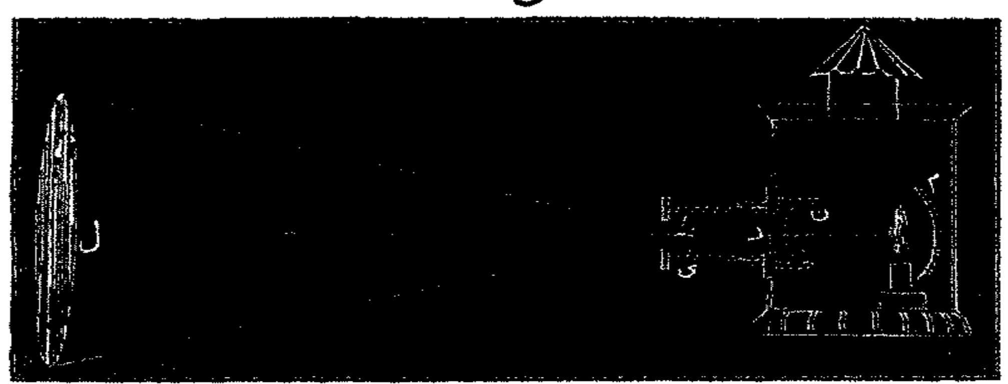
٥٢١ فائدة التلسكوب . قد تقدم (رقم ٤٤٠) ان المرئيات يقل نورها بابتعادها بنسبة زيادة مربع البعد اي كمربع البعد بالقلب وبالضرورة ولئن كانت العين توقّع الصورة على الشبكية يضعف انجلاء الاشباح المرئية للبصر. اما التلسكوب مطلقًا فلما

كانت زجاجة الشبح او المرآة المقعرة فيها تجمع النور فتصغر صورة الشبح وزجاجة العين تكبرها حتى يعود مقدارها أكبر من الشبح او مساويًا لهُ فمقدار النور الواقع على زجاجة الشبح اعظم جدًّا من الذي يقع على بؤبؤ العين المجرد . وبذلك يزداد كثيرًا لمعان الاشباح فتصير اوضح مما كانت فكانها قرِّبت او قل بعدها ولذلك سمينا هذه الالة بنظارة التقريب

٥٢٢ فانوس الساحر. هو آلة بها تكبَّر صوَر اشباح مصوَّرة على لوح زجاج بمواد ملونة شفافة

هذا الشكل يريسا الفانوس فيهِ سطح صقيل من فضة م يعكس الشعاع

شكل ٣٩٧

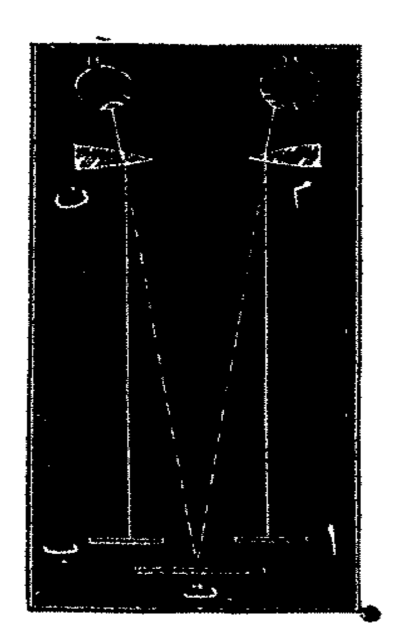


وعدسية مضاعفة التحديب ن والعدسية والسطح الفضة موضوعان بحيث نور مصباح يقع في بورتهما المشتركة . فبهذا التدبير حبلٌ كثيف من الشعاع المتوازية ترتمي على اللوح الزجاج المدخل في الكوة د . والاشكال على هذا اللوح مصورة باصباغ مختلفة ملونة شفافة ترخص للنور ان يجتاز فيها بسهولة . وامام اللوح توضع عدسية محدبة ى على بعد من د اعظم قليلاً من بعد بورتها الرئيسة

وبواسطة هذه العدسية تحصل على الحائط صورة مقلوبة لصورة اللوح. فلذلك يقتضي ان تدخل صورة اللوح مقلوبةً لكي تتقوَّم على الحائط. وبموجب (رقم ٤٧٦) قطر الصورة التي تكونت على الحائط ل تزيد قطر التصويرة على اللوح الزجاج بنسبة بعديهما عن ي ومن حيث ان الاولى تكون ابعد من الثانية عن ى اضعافًا عديدة فهي اكبر جدًّا منها وبالضرورة يقل نورها بهذه النسبة. ولذلك يشعل مصباح قوي النور ما امكن ويجمع نورهُ بواسطة السطح الفضة المقعر والعدسية المحدبة بين المصباح ولوح الزجاج. وهذه الآلة تشبه المكرسكوب مشابهة كلية فتامل. وهي تستعمل لاجل التسلية او لايضاح بعض اصول العلوم

٥٣٢ الستيريوسكوب . هذه اللفظة يونانية معناها نظر الجسمات وهي اسمٌ لآلةٍ ترى فيها الصور المسطحة مجسمة. ولايضاحها نقول ان صورتي شيء في العينين ولئن تكونا دائمًا متشابهتين ليستا غالبًا متطابقتين تمامًا. بل تكونان كذلك فقط حينما يكون الشيء سطحًا بسيطًا مستويًا كتصويرة . وانما متى كان الشيء ذا سطحين او اكثر فالصورتان في العينين تختلفان . ويمكن ان يتبين ذلك بهذه التجربة وهي امسك بيدك كتابًا واجعلهُ قائمًا امام عينيك ظهرهُ متجه الى نحوك فترى الظهر وكلا الجانبين . فان غمضت حينئذٍ عينك اليمنى ترى باليسرى ظهر الكتاب والجانب الايسر اي ان هذين الجزئين من الكتاب يرسمان على شبكية العين اليسرى. ثم بتغميض العين اليسرى يظهر ان الصورة في اليمنى مختلفة لانك ترى حينئذٍ مع ظهر الكتاب الجانب الايمن منهُ. فبناء على ذلك اخترعت الستيريوسكوب. وهي مولفة من

شكل ٢٩٨



علبةٍ لاجل وضع صورتين فيها وزوج من الزجاجات المكسرة النور لاجل نظر الصورتين . اما الصورتان فكلاهما صورة شبح واحد غير ان الصورة عن اليمين مصورة كما تراها العين اليمنى . والتي عن اليسار مصورة كما تظهر للعين اليسرى . اما الزجاجات المشار اليها وهما م ن (شكل ٢٩٨) فكل منهما منشور رقيق محكوك حتى يصير سطحهُ منحنياً لكي يقوم مقام عدسية . وهما موضوعان بحيث زاويتا الانكسار لهما احداهما قبال الاخرى . فاذا مرَّت شعاع من صورة عند ا في المنشور م تصل الى العين كانها اتية من ت اذ تصل الشعاع من الصورة الثانية عند ب بعد مرورها في المنشور ن الى العين كانها اتت من ت وهكذا شعاع كلا الصورتين يصلان الى العينين كانهما اتيا من صورة واحدة هي في منتصف البعد بين الصورتين وكل من العينين ترى ما تراهُ من الجوانب لو كانت الصورة مجسمة فيظهر الشبح للناظر مجسماً . وفائدة هذه الآلة انها توضح للنظر مجسماً تصوَّر على سطحٍ كورق لا يمكن ان يرسم عليهِ الجسم تماماً

## الفصل السابع

### في تشرُّف النور والسطوح المخطَّطة والصفائح الرقيقة

٥٢٤ اذا دخل حبلٌ من النور الى غرفةٍ مظلمة من ثقب في شباك فيهِ عدسية تختار عظيمة التحديب لتكون بورتها قريبة تتجمع الاشعة فتتقاطع في بورتها وتصير حزمةً منفرجة ثم اذا ادخلنا في هذه الحزمة جسماً مظلماً كشفرة سكين مثلاً ولاحظنا الظل الذي

يرميهِ على سطح ابيض كورق نشاهد على جانبي الظل شرّافات او طررٌ من نور ملوّن الوانهُ الوان الطيف وعلى ترتيبها . ويلاحظ غالبًا ثلاثة او اربعة شرافات اذ تكون القربى الى الظل الاكمل والاوضح والبُعدَى اقل واضعف الوانًا. وذلك ما يقال لهُ تشرُّف النور. وهذا التشرف لا يتوقف على كثافة او سمك الجسم الذي يرمي الظل. لان النور بمرورهِ على حد السكين يتاثر كما يمر على متنهِ وعَلَى قطعة من رخام كما على صفيحة رقيقة من الهواء محصورة في الزجاج . واذا ادخلنا الى الغرفة المظلمة المذكورة نور لون واحد عوضًا عن النور الابيض بوضع لوح من زجاج لهُ لونٌ امام ثقبها او بارسال احد الوان الطيف الى داخلها ترى الشرافات حينئذٍ من ذلك اللون فقط احداها تفترق عن الاخرى بخطوط اعتم منها . وعند قياس عرض وبعد شراقات مختلفة يرى ان شرافات الاحمر هي الاعرض والتي للبنفسجي هي الاضيق وعرض شرافات بقية الوان الطيف بحسب رتبتها . وهذه الظواهر تحصل بدخول النور في اثقاب صغيرة غير انها تكون مختلفة الهيئة . فاذا عرضنا صفيحة من رصاص فيها ثقب دبوس امام مخروط النور الداخل الى الغرفة المشار اليها وجعلنا تلك الحزمة الرفيعة من النور المارة بثقب الصفيحة المذكورة تقع

على نظارة معظمة فالثقب يرى دائرة مضيئة محاطةً بعدة حلقات كل منها مؤلف من الوان الطيف . وهذه الحلقات بالحقيقة هي الشرافات التي تكونت بواسطة حد الثقب المستدير غير ان حدودها المتقابلة احدها قريب جدًّا الى الاخر. فان أُزيلت هذه الصفيحة وعرِّضت اخرى لها ثقبا دبوس البعد بينهما اقل من ثمن عقدة فما عدا الحلقات المستديرة الملونة حول كلٍّ من حزمتي الاشعة على سطح الورق المقابل يظهر خطوط مستطيلة تقطع الفسحة بين الثقبين وهذه الخطوط مستقيمة تقريبًا ومضيئة ومظلمة بالتبادل وتختلف لونا بحسب بعدها عن الخط الاوسط . وهذه الخطوط نتيجة وقوع احدى حزمتي النور على الاخرى ليس الا لانهُ عند تغطية احد الثقبين تختفي كليًّا. وباصطناع اثقاب مستديرة وشقوق ضيقة على هيئات مختلفة في صفيحة الرصاص تحصل اشكال جميلة لامعة جدًّا . وعلة هذه النتائج ان النور بوقوعهِ على حواف المواد ينعكس قليلًا فينكسر في الهواء وبالانكسار ينحل الى الوان الطيف. واما عدم ظهور هذه النتيجة دائمًا بمرور النور على حواف الاجسام فلرجوع الالوان المنحلة بيضاء باختلاطها بالانوار الغريبة . ودليلهُ انهُ اذا اتفق ان تكون الشعاع المارَّة على حواف الاجسام نقيةً من الالوان الغريبة كما اذا نظرنا الى سقف خص قزّ مظلم واقع عليهِ

نورَ الشمس ونافذ في ثقوبهِ وشقوقهِ نشاهد الوان الطيف واضحًا . وايضًا تظهر هذه النتيجة بالنظر الى مصباح بعيدٍ من خلال نسيج ريشة طير. فيرى عدة صفوف من صورٍ ملونة على ترتيب يثبت بثبوت الريشة ويدور بادارتها

٥٢٥ السطوح المخططة. اذا خُطِّطت سطوح مادةٍ ما بحفر خطوط متوازية ٢٠٠٠ خط او اكثر لكل عقدة تعكس الوانًا لامعة اذا وضعت في شعاع الشمس. فان عِرق اللؤلؤ وهو صدف اللؤلؤ وانواع كثيرة من الصدف البحرية تظهر ملوَّنة لكثرة الخطوط الدقيقة في سطوحها. وهذه الخطوط هي الحدود الدقيقة للمادة الشفافة التي تتالف منها الصدَفة والتي تبرز على السطح بخطوط دقيقة قريبة من التوازي. والذي يؤكد ان اللون ينتج عن السبب المذكور حصول الوان المادة الملوَّنة على سطح مادة لَزِجة اذا كُبِست المادة عليهِ. وبهذه الطريقة اكتشف العلاَّمة ولستن العلة الحقيقية لالوانٍ كهذه. والالوان المتغيرة في ريش بعض الطيور واجنحة بعض الهوام ناتجة ايضًا عن تخطيط سطوحها. ويمكن ان تصنع المعادن لامعةً جدًّا بضربها بطابعٍ من فولاذ يخطط اولاً بماسة مروَّسة تُجَرّ على حد مسطرة بخطوط من ٢٠٠٠ الى ١٠٠٠٠ لكل عقدة. والازرار المذهبة وادوات اخر

للملبوس تستحضر احياناً على هذا الاسلوب وتسمى بالحليّ الطيفية. ولما كان اللون يختلف باختلاف البعد بين الخطوط وميل شعاع النور فقد يعكس نفس السطح المخطط على الاسلوب المذكور كل الالوان وكل لون مراراً كثيرة بمجرد تغيير ميلهِ على شعاع النور

٥٣٦ الصفائح الرقيقة. اذا تحوّل سمك مادةٍ شفافة الى اجزاء من مليون من العقدة تعكس الواناً برّاقة تتغير بحسب تغير السمك. وامثلة ذلك الصفائح الرقيقة من الهواء الشاغلة شقوقاً في الزجاج والجليد والخلال بين صفائح الميكا. وكذلك القشور الرقيقة من الزيت على وجه الماء والكحول على الزجاج ولكن بنوع جلي في رغوة الصابون التي تُنفخ حتى تصير ذات فقاقيع رقيقةٍ جدًّا. واذا وضعت عدسية قليلة التحديب على زجاجة متوازية السطوح وانكبس الاثنان معاً ببرغٍ ووقع عليها نورٌ من كوَّةٍ تشاهد حلقات ملوَّنة مصطفة حول نقطة المماسة في الصفائح الرقيقة من الهواء. والحلقات الاقصر قطراً منها هي الاوسع والالمع وكل منها تحتوي الوان الطيف بترتيبها من البنفسجي على الحد الداخل الى الاحمر على الخارج. واما الحلقات الكبرى فليست تصير اضيق واقل لمعاناً فقط بل تحتوي اقل الوان مع بقاء الالوان على ترتيب الطيف. وازدياد الكبس يسبب اتساع الحلقات اذ تتكون حلقات جديدة

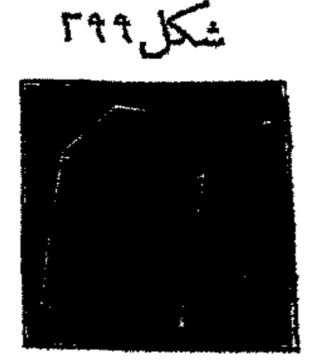
عند المركز وهذه تتسع ايضاً حتى يصير المركز مظلماً ولا تعود تتكون حلقات جديدة وهذه الحلقات تسمى غالباً حلقات نيوتُن لانهُ اول من بحث عن امرها

## الفصل الثامن

### في الانكسار المزدوج والاستقطاب

٥٢٧ الانكسار المزدوج . ان كثيراً من المواد الشفافة وخصوصاً المتبلورة عوضاً ان تكسّر شعاع النور بموجب الطريقة الاعتيادية تقسمها الى قسمين . وذلك ما يسمى بالانكسار المزدوج ويقال للمواد التي تكسرها هكذا المواد ذات الانكسار المزدوج واشهر هذه المواد كربونات الكلس التي تسمى البلورات الايسلاندية وهيئتها ( شكل ٣٩٩ ) شكلٌ متوازي السطوح لهُ ستة اوجه هي مستطيلات فاذا وضعت احدى البلورات المذكورة على سطر كتابة مثلاً يظهر السطر الواحد اثنين واحدى الصورتين مفترقةٌ عن الاخرى واقرب الى العين

شكل ٣٩٩



٥٣٨ الشعة الاعتيادية وغير الاعتيادية. لنفرض عوض ان ننظر الى سطر الكتابة او اشباح اخر في البلورة ان حبل الشعاع ك ر (شكل ٣٠٠) وقع عليها. فعند دخوله ينقسم الى ر ذ ور د وبعد النفوذ يخرج حبلين مفترقين

شكل ٣٠٠

ذ ذَ ود دَ احدهما يوازي الاخر وكلاهما يوازيان الشعة الواقعة رك. واحدهما ر ذ ذَ يجري على الناموس الاعتيادي للانكسار اذ يبقى في سطح الوقوع وعلى نسبة واحدة بين جيب الوقوع وجيب الانكسار في كل الاميال ولذلك يقال له الشعة الاعتيادية. والاخر ر د دَ يحيد عن سطح الوقوع في اكثر الاحوال ولا يبقى على نسبة واحدة بين جيبي الوقوع والانكسار له ولهذا يقال له الشعة غير الاعتيادية

٥٣٩ محور البلورات. انه يوجد جهة واحدة يمر فيها النور اذ يخترق البلورة بدون ان ينكسر انكسارًا مزدوجًا بل انكسارًا مفردًا. وتلك الجهة يدل عليها بالخط ا ل الذي يوصل بين الزاويتين المنفرجتين ويقال لهذا الخط محور البلورة. وكذلك اذا دخلت الشعة في اي نقطة من عندها تميل بالانكسار حتى تصير متوازية لخط ا ل تنكسر انكسارًا مفردًا كما في سائر المواد الشفافة

عند ي هي كما اذا كان ا س حبلاً من نورٍ اعتيادي . واذا اديرت ن ف تاخذ الشعاع عند ي ان تتناقص كثافتها حتى تصل الى ادنى درجة عندما يكون السطح ا س ي عمودياً على السطح ر ا س كالوضع المدلول عليهِ في (شكل ٣٠١) . وبمداومة الادارة نجد الكثافة تتزايد في الربع الثاني من الدوران الى ان تصل الى معظمها عندما يتطابق سطحا الوقوع ايضاً في نهاية ١٨٠° عن الموقع الاوَّل. وفي النصف الثاني من الدوران تتغير الكثافة كما في الاول اي تضعف ثم تتزايد. ثم لان النور هو في اقل كثافة عندما يكون سطحا الوقوع احدها عموديٌّ على الاخر فاذا توهمنا كرةً مركزها س ونصف قطرها س ى فقطبا دائرة السطح الواحد ى وما يقابلها حينئذٍ في محيط دائرة الاخر ولذلك يقال ان النور قد استُقطِب

٥٣٣ زوايا الاستقطاب . ان زاوية الاستقطاب للزجاج هي ٧٥° ليس لان الزجاج لا يستقطب فيهِ النور بزاوية وقوعٍ اخرى ولكن لانهُ في سائر الزوايا يكون استقطاب النور بدرجة ادنى اي انهُ بادارة المحلل يكون تغير الكثافة اقل والنور عند ي لا يصير ضعيفًا بمقدار ضعفهِ في الزاوية المذكورة . ثم انهُ باختلاف المواد تختلف زوايا الاستقطاب وقد عرف انهُ لقوة الانكسار مدخل في ذلك حتى تحسب زاوية الاستقطاب لاي مادة كانت من معرفة

دليل الانكسار لها وبالعكس . ومن ذلك يمكنا ان نعرف قوة الانكسار لاجسام مظلمة . ثم انهُ لا مادة يستقطب بها النور الواقع عليها تمامًا ولو عند زاوية الاستقطاب . والاستقطاب التام لشعة ا س هو ملاشاة س ي تمامًا عند نقطتين متقابلتين من دورانها ومن الجهة الاخرى كل مادة لابد ان يستقطب بها النور المنعكس عنها شيئًا . اما الاستقطاب الناتج من الانعكاس عن المعادن فطفيف جدًّا ولذلك لا يظهر الاستقطاب بالمرايا لان النور ينعكس عن الزيبق فيها وليس عن الزجاج

٥٢٣ استقطاب الانكسار . النور يُستقطَب ايضًا في نَضَد صفائح من مادة شفافة على زاوية وقوع تساوي زاوية الاستقطاب لهُ . فاذا وضع النضد من ثلاثين صفيحة من زجاج شفاف رقيقة جدًّا مكان ا ووضع المحلل س (شكل ٢٠١) ونفذ فيها حبل من نور الى نحو س فعند دخولهِ وخروجهِ من النضد الموضوع كما في الشكل اذ تكون زاوية الوقوع وزاوية الانكسار في سطحٍ افقي يطرأُ على حبل الشعاع التغيير الذي حدث في استقطاب الانعكاس نفسهُ غير ان اماكن الكثافة العظمى والدنيا تنقلب . فان انعكس النور عن س في السطح الذي فيهِ انكسر في ا فهو في كثافتهِ الدنيا وفي كثافتهِ العظمى اذا انعكس عن سطح عمودي على الذي انكسر فيهِ كما عند ي

في الشكل المذكور

٥٣٤ وقد يستقطب النور ايضاً في بلورات خصوصية. فكل بلورة تكسر النور انكساراً مزدوجاً تستقطب فيها الشعة الاعتيادية وغير الاعتيادية. فان قطعت صفيحة رقيقة من بلورة من التورملين بسطوح توازي محورها فحبل الشعاع النافذ فيها يستقطب وحينما يقع على المحلل يصير لامعًا وضعيفًا بالتبادل ما دامت تدار انبوبة المحلل. وان مرَّ حبل من شعاع في بلورة ذات انكسار مزدوج ووقع كلا جزئيهِ على صفيحة المحلل يصير كلٌّ منهما الى معظم والى اقل لامعيتهِ عند الارباع المتبادلة. بل حينما تكون شعة في معظم لمعانها تتلاشى الاخرى. فالشعتان الاثنتان اذن اللتان تنفذان من بورة ذات انكسار مزدوج تستقطبان تماماً وهما في سطحين احدهما عمودي على الاخر

ويصح ان يوضع نضد من صفائح زجاج موضع المحلل س كما يصح وضعهُ مكان المستقطب ا لانهُ بادارتهِ حينئذٍ مع كون حبل الشعاع النافذ يبقى في مكانهِ عينهِ يضيء الى معظم كثافتهِ ويضعف الى ان يصل الى اقلها

كذلك اذا مرَّ نورٌ في بلورة تورملين ووقع على بلورة ثانية محورها البلوري متوازٍ لمحور الاولى فالشعة تنفذ منها ايضاً وان

اديرت الثانية في سطحها فالشعة النافذة تتناقص الى ان تقترب الى الملاشاة عندما يصير محور الثانية على ميل ٩٠° على محور الاولى ثم تضي ثم تضعف بالتبادل في الارباع الباقية من الدائرة (انظر الكيميا تاليف العلامة فان ديك وجه ٢١ سطر ١١)

٥٣٥ اخيرًا ضع بلورة ذات انكسار مزدوج عند كلٍّ من طرفي الة الاستقطاب او البولاريسكوب واجعل حبلًا من الشعاع ينفذ فيهما ويقع على سطح ابيض كسطح كرتونة فالبلورة الاولى تستقطب كل شعة والثانية تكسر كل شعة انكسارًا مزدوجا وايضا تحللها فتظهر بها سلسلة تغيرات مبهجة جدًّا . فتظهر غالبًا اربع شعات من البلورة الثانية جاعلة اربع بقع منيرة على السطح. ولكن عند ادارة الانبوبة الشعاع الاربع تاخذ بالدوران بعضها حول بعض وليس ذلك فقط ولكن اثنتان منها تاخذان باللمعان والاثنتان الاخريان تنقصان كازدياد الاوليين حتى تبان اثنتان فقط عند معظم كثافتها . فعند نهاية الربع الثاني البقع التي كانت قبلًا غير ظاهرة تصير الى معظم لمعانها والاخرى تنطفي . وهذا التبادل يدوم ما دامت البلورة تدار . وفي منتصف كل ربع يتساوى لمعان الاربعة

# الفصل التاسع

## في قولَي النور

٥٣٦ عند الكلام على النور في بداية هذا الباب ذكرنا لماهيتهِ قولين قالها فئتان من الفلاسفة ولا باس من مراجعتها لاجل ايضاحهما واظهار ترجيح الثاني

القول الاول ان النور مادة لطيفة تنتشر من الاجسام المنيرة الى كل الجهات على خطوط مستقيمة بسرعة فائقة جدًّا وسرعتهُ كما مر (رقم ٤٣٩) = ١٩٢٠٠٠ ميل كل ثانية

القول الثاني انهُ حاسية يحدثها نقر تموج مادة لطيفة مرنة مالئة الفضاء تُعرَف بالايثير على عصب البصر

اما القول الثاني فهو المعوَّل عليهِ عند جمهور الطبيعيين الآن لقيام ادلة ترجحهُ على الاول . وقبل تبيين ارجحيتهِ عليهِ نوضح حقيقتهُ بثلاث قضايا

(١) امواج النور تسير في الايثير ١٩٢٠٠٠ ميل في الثانية لانهُ ان كانت هذه السرعة سرعة النور فلا بد ان تكون معدل السرعة التي بها تنبعث الامواج في الايثير

(٢) جواهر الايثير تتموج عموديًّا على خطوط الشعة في كل الجهات فان نظر شخص نجمًا في السمت يجب ان يُعتبَر كل جوهر من الايثير بين

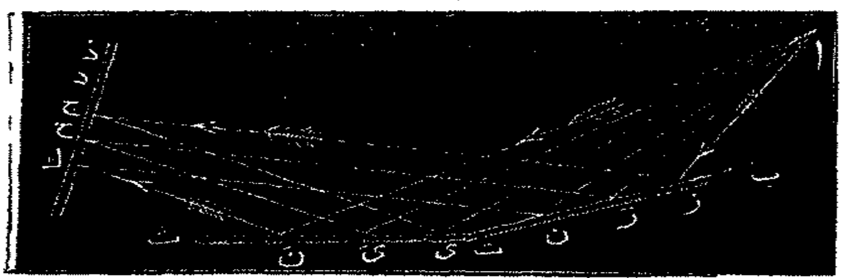
النجم وعينيهِ بتموج قاطعًا الخط السمتي في كل الجهات الافقية شمالاً وجنوبًا وغربًا وفي خطوط لا تحصى بين هولاء

(٣) سرعة التموج تختلف باختلاف الالوان فتموج احمر الالوان السبعة هو الابطأ والبنفسجي هو الاسرع وتموج والالوان الاخر بسرعات متوسطة بينهما . فالالوان القُزَحية تشبه ابراج السلم الموسيقي في عددها وتفاوت سرعات تموجاتها والنور الابيض هو كمجموع الابراج السبعة للاذن . وفي الايثير تموجات ابطأ من تموجات النور الاحمر واخرى اسرع من تموجات النور البنفسجي ولكنها لم تكن لتؤثر بالبصر . اما الاولى وهي الحرارة فتؤثر بحاسية اللمس واما الثانية فتصدر عنها نتائج كيماوية

٥٣٧ المعارضة بمرآتين . من القضايا التي ترجح القول الثاني وهو الحكم بكون النور مادة متموجة معارضة اشعة النور بعضها بعضًا بمرآتين

خذ سطحين يعكسان النور كمرآتين واجعل مَيل احداهما على الاخرى زاوية منفرجة جدًّا (شكل ٣٠٢) واجعل حبلاً من النوران يقع عليهما وينعكس

شكل ٣٠٢



عنهما الى سطح ابيض كسطح كرتونة فالحزمتان المنعكستان عن المرآتين احداهما تعارض الاخرى وتجعلان خطوطًا لامعة ومظلمة . ويعلّل عن ذلك بموجب القول الثاني تعليلاً مقبولاً للعقل وهو ان النور اذا عارضت تموجاتهُ

بعضها بعضًا نتج ظلام وان التقت بدون ان يُعارض بعضها بعضًا فالناتج زيادة لمعان لاجتماع النور كما ان معارضة تموجات الهواء بعضها بعضًا تسبب سكوتًا

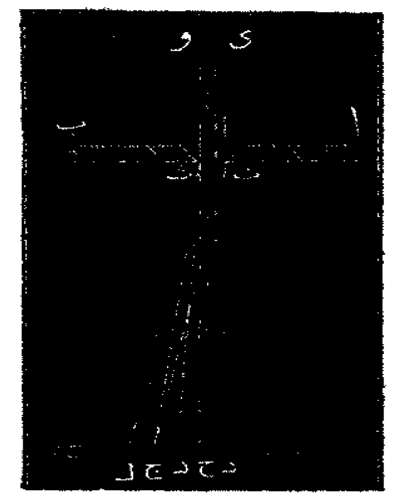
لنفرض نور لونٍ واحد كالبنفسجي ياتي من نقطة مشعشعة ا (شكل ٣٠٢) ولتعكسهُ المرآتان ب ت و ى ث الى السطح ك ذ . فقد يتفق في نقطتي فوي ان تكون الشعة المنعكسة عن الاولى ا ز + ز ج تساوي الشعة المنعكسة عن الثانية ا ى + ى ج فتكون ج حينئذٍ منيرة لوقوع وجه واحد من الموجتين على ج . ولكن ان وقعت ح بحيث ا زَ + زَ ح تختلف نصف موجة بنفسجية عن ايَ + يَ ح تكون ح نقطة مظلمة اذ يجتمع وجهان متقابلان من موجتين هناك فتعارض الواحدة الاخرى في مسيرها وتبطل حركتها وينتج من ذلك ظلام ويقع على الجانب الآخر من ج نقطة اخرى مظلمة وهي د . وايضًا تكون نقتطان مثل ك و ذ على جانبي ج كل مسافة مرور النور الى كل منها على مرآة واحدة تزيد كل مسافة مروره اليها على المرآة الاخرى بموجة واحدة بنفسجية فهاتان النقتطان هما مضيئتان . فتقع صفوف نقط مضيئة ومظلمة على سطح الكرتونة هي في خطوط شلجمية . اما سائر الالوان السبعة فتظهر منها نقط مفترقة ابعد من الصادرة عن البنفسجي ومن ذلك دليل على كون تموجاتها اطول

٥٣٨ المعارضة بتشرف النور . من القضايا التي ترجح تموج النور ايضًا معارضة أشعتهِ اذ يتشرف بدخوله في ثقب في حاجز مظلم

ليكن ت ث ثقبا ضيقًا جدًّا من حاجز مظلم ا ب (شكل ٣٠٢) يدخل فيهِ حبل من النور ى و ذ ح من لونٍ ما آتٍ من نقطةٍ واحدة فان ذلك الجزء من الثقب قرب ث يسوغ ان يحسب مركزًا نيرًا منهُ تصدر تموجات

الى كل الجهات ويصح ذلك في الجزء الاخر من الثقب قرب ت . لتكن د نقطةً على جانب الحبل بحيث يكون الفرق بين البعدين ث د وت د نصف موجة من اللون المدخل فاذ يجتمع وجهان متقابلان هناك تكون د نقطة مظلمة . ثم لتكن ج نقطة ابعد عن الحبل حيث ت ج — ث ج يساوي طول موجة فتكون نقطة ج منيرة اذ يلتقي وجهان متشابهان في تلك النقطة . وهذا التبادل يتكرر مرات قليلة حتى تجمع النقط المنيرة وتضعف . وان جُعل

شكل ٢٠٣



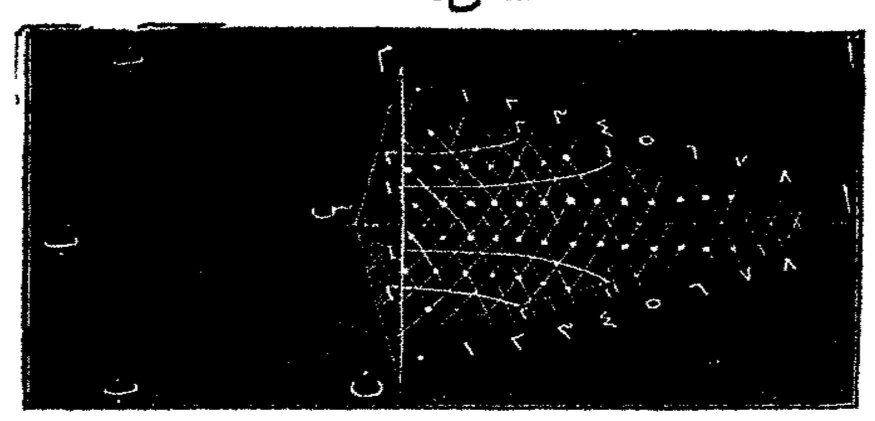
الثقب اضيق فواضح ان الفسحات المتوسطة ح د دج الخ لا بد ان تطول لكي تبقى ت د — ث د متساوية نصف موجة وت ج — ث ج تساوي موجة . فالنور البنفسجي يجعل خطوطاً اضيق والاحمر خطوطاً اوسع وذلك دليل كما مر على كون موجة اللون البنفسجي اضيق لما لا يخفى . واما النور الابيض فينتج عنهُ شرّافات طيفية كل منها مركب من الالوان السبعة كما مر . وان ازيل الجانب الايمن من الحاجزات حتى يمر النور على طرف واحد ث تبقى الشرافات غير انها تختلف نوعاً

٥٣٩ معارضة النور بمنشور زجاجي. اذا وقع النور على سطحي منشور زجاجي بينهما زاوية منفرجة جداً يظهر صفوف من النقط السود والبيض ايضاً وذلك دليل ايضاً على تموج النور

مثالهُ ليدخل نور الشمس الى غرفة مظلمة من ثقب مدخل فيهِ عدسية محدبة ذات بورة قريبة ولتكن البورة ب (شكل ٢٠٤) وليكن م س ن منشوراً ذا زاوية منفرجة جداً عند س فالشعاع المنتشرة من ب الواقعة على سطح م س تتكسر كانها صادرة من بَ اذ تتكسر الشعاع من ب الواقعة على س ن

كأنّها صادرة من بَ. فالنقطتان بَ و بً يصح ان تحسبا مركزين لنظامي امواجٍ منتشرين كانهما صادرانْ من بَ و بً فتعارض امواجُ النقطة الواحدة امواجَ الاخرى وتتقاطعان. ارسم من هاتين النقطتين كمركزين اقواسًا مستديرة

شكل ٣٠٤



١٠ ٢ ٣ ٤ الخ لكي تدل كل فسحة بين قوسين متوازيتين منها على موجةٍ . ثم ارسم بين كل اثنتين منها اقواسًا فتتنصف الامواج فاذا التقى موجتان كاملتان او نصفا موجتين تزيد احداهما انارة الاخرى فيحصل من ذلك صفوف نقط منيرة كما يدل عليها بالخطوط البيض ١ ١ ٢ ٢ . ولكن ان صار تقاطع عند النقط حيث الموجتان في جهتين متقابلتين تعارض احدى الموجتين الاخرى فتزيل انارتها ويحصل صفوف نقط سود كما يدل عليها بالنقط البيضاء. فان عملت هذه التجربة بنور بنفسجي ووضع حاجز عند ا يحصل صفوف بقع صغيرة بنفسجية وسود بالتبادل . وان عملت بنور احمر يحصل صفوف بقع حمر وسود غير ان البقع في النور البنفسجي تكون اضيق من التي في الاحمر وذلك دليل على ان امواج البنفسجي اضيق من امواج الاحمر . ولذلك نحكم انها اسرع في سيرها اذ كانت هذه وتلك تقطعان مسافة واحدة في وقتٍ واحد . اما بقع بقية الوان الطيف فتظهر صفوفًا لامعة وسود سعةِ الواحدة منها بين سعتي التي للاحمر والتي للبنفسجي . واذا عملت التجربة في النور الابيض تظهر عند

ا بقعة بيضاء ولها هدب احمر ثم بعدها بقع سوداء ثم بعدها بقع منيرة هدبها احمر ووسطها بنفسجي وما بعد هذه بقع سوداء وما بعدها بقع منيرة هدبها احمر ووسطها بنفسجي وهلمّ جرّا

٥٤٠ ازالة التموّج بالاستقطاب . يمكن ان يعلّل عن الاستقطاب بموجب حكم التموج تعليلاً مقبولاً وهو ان النور الذي يتموج في كل الجهات كما مر اذا انعكس سواءٌ كان انعكاسهُ عن المستقطب او عن المحلل فتلك التموجات منهُ التي هي في سطح الوقوع تضعف كثيرًا او قليلاً اذ لا نتاثر تلك التي هي عمودية على ذلك السطح

ولايضاح ذلك لنفرض (شكل ٣٠١) ان ا و س مستقطبين تامين حتى ان التموج في سطح الوقوع يتلاشى كليا . ففي خط د ا جواهر الاثير تموج معارضة له افقيا وسمتيا واذ كان سطح الوقوع را س افقيًّا فالجواهر في خط ا س تبقى تموج سمتيا فقط لان التموجات الافقية اذ كانت في سطح الوقوع تتلاشى لمصادمتها السطح العاكس نحرًا . ثم ليوضع السطح س بحيث يعكس افقيا فالنور لا يضعف بهذا الانعكاس لانهُ لا تموجات افقية لتتلاشى حينئذٍ . ولكن ليُدَر س ليعكس سمتيًّا اي الى فوق فلا يتاتى الانعكاس حينئذٍ اذ كل التموجات الباقية في ا س في السطح السمتي الذي هو سطح الوقوع فتتلاشى التموجات السمتية عند س بنفس السبب الذي بهِ تلاشت التموجات الافقية عند ا . وبمثل هذا التعليل يعلل عن استقطاب الانكسار لان النور بدخولهِ بين سطحين قريبين جدًّا في بلورة ايسلاندية مثلاً تصير تموجاتهُ في سطح واحد ثم اذا مر في بلورة اخرى في سطحٍ يطابق السطح الاول

الذي نفذ منهُ فتموجاتهُ تجتازهُ وان عارض السطح الثاني الاول فلا لانهُ يعارض حينئذٍ تموجات النور

فالقضايا التي ذكرت اذ كان لا يعلَّل عنها تعليلاً مقبولاً للعقل الاَّ بمقتضى تموج النور تُرَجّح لنا كون النور مادة اثيرية متموجة وان تموج هذه المادة سبب للاشعار بالنور وبالاشياء المرئية والحرارة





# الباب الحادي عشر

## في الحرارة وفيهِ اربعة فصول

## الفصل الاول

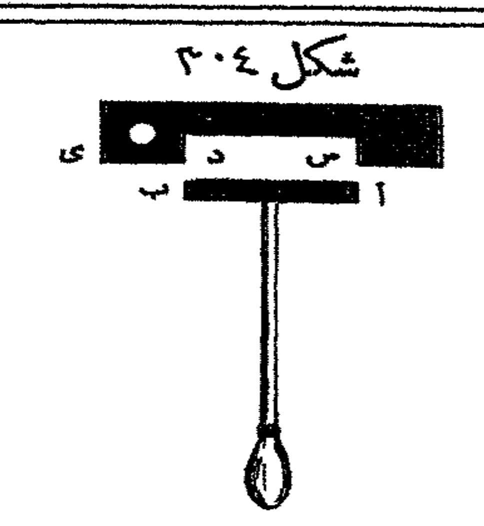
### في الامتداد والترمومتر

٥٤١ الحرارة هي تموج في الاثير ابطأُ من تموُّج اي لون كان من الوان الطيف . وهي احدى الاشياء الاربعة التي لا يشعر لها بثقل اذ لا توزن وهي الكهربائية والمغناطيسية والنور والحرارة . وزيادتها تؤثّر باللمس وتصدر عنها مسببات اخر في المواد كما سياتي

كل الاجسام سواءٌ كانت جامدة ام سائلة ام غازية يتمدد حجمها بزيادة الحرارة

فان اخذنا قضيبًا من حديد ا ب حتى يدخل بحرارتهِ الاعتيادية في س ل وقطرهُ يدخل في الثقبة ى فاذا احمي الحديد ا ب يطول حتى لا يعود

يجتاز في س د ويثخن حتى لا يعود يدخل في ي . ثم اذا برد يعود يدخل ايضًا كالاوَّل



شكل ٣٠٤

٥٤٣ اذا ملئ بلبوس زجاجي متصل بهِ انبوبة صغيرة بسائل مرن او غير مرن واحمي يصعد السائل في الانبوبة لتمدُّدهِ بالحرارة

خذ انبوبة طويلة ( شكل ٣٠٥ ) لها بلبوس زجاج ب في طرف واحد والطرف الآخر مفتوح ومغطَّس في وعاء زجاجي يحتوي سائلاً ملونًا . فاذا احمي البلبوس تمدَّد الهواء فيخرج جانبٌ منهُ ثم اذا برد يتقلَّص فيصعد السائل في الانبوبة. فحجم الاجسام اذًا يتوقف على درجة حرارتها . فقصب ميزان اذا كان طولهُ ذراع في الصيف فهو اقل من ذراع في الشتاء . والوعاء الذي يسع قنطارًا من الزيت في الشتاء يسع اكثر من قنطار في الصيف . وبموجب هذا الناموس شيءُ الكستنا يقتضي تغر جزءٍ من قشرة كل واحدة منهُ قبل وضعها في النار والاَّ يتسع الهواء داخلها بحرارة النار فيشق الكستنا لضيق المحل ويخرج بفرقعة قوية وينثر معهُ النار والرماد واحيانًا يحصل من ذلك ضرر بليغ يحرق الاثاث الثمين وقس على ما ذكر ما لم يذكر

شكل ٣٠٥
ب
ا
س

٥٤١ قياس درجة الحرارة. ان امتداد الجسم بناءً على ما تقدم يصح ان يستخدم لقياس درجة حرارتهِ . والالات التي تدل على درجة حرارة الاجسام تسمى ثرمومترات . فالثرمومترات تصطنع

من مواد جامدة او سائلة او غازية. والمادة الاكثر استعمالاً للثرمومتر هي الزيبق . والثرمومتر الزيبقي مؤلف من انبوبة زجاجية شعرية في طرفها الواحد بلبوس صغير رقيق والبلبوس وجانب من الانبوبة مملوءَان زيبقًا

الزجاج والزيبق كلاهما يتمددان بزيادة الحرارة فان تمدّد المادتان بالسوية فعمود الزيبق في الانبوبة لا يصعد ولا يهبط بتغير درجة الحرارة اذ يزداد حجم الزيبق كازدياد سعة البلبوس . ولكن امتداد الزيبق هو سبعة اضعاف امتداد الزجاج فان أُحمي البلبوس يصعد الزيبق في الانبوبة وان بُرِّدَ يهبط

شكل ٢٠٦

٥٤٢ الثرمومتر او ميزان الحرارة. لكي يكون الثرمومتر مناسبًا لقياس درجة الحرارة يجب ان يتصل بالانبوبة مقياس فدرجتا الحرارة الاعلى والاوطى هما درجة الماء الغالي والجليد المذوّب ويقال للاولى درجة الغليان وللثانية درجة التجلُّد. ففي ثرمومتر فهرنهيت علامة الاولى ٢١٢° وعلامة الاخرى ٣٢° وما بينهما مقسومٌ الى ١٨٠ قسما متساوية ويقال لهذه الاقسام درجات وفوق الاولى وتحت الثانية تبقى الدرجات متساوية لما بينهما .

وهذا المقياس استخدم نحو سنة ١٧٢٠ وصفر المقياس وضع عند ٣٢° تحت درجة التجلد لان هذه الدرجة هي الابرد ما يكون التي استطاع فهرنهيت ان يصل اليها بمزيج مجلِّد وقد ظنَّ انها الدرجة العظمى للبرودة التى تحدث في الطبيعة . واقسام هذا المقياس تحت الصفر تتميز بعلامة السلب. مثالهُ +٣٢° تدل على ٣٢° فوق صفر ولكن —٣٢° تدل على ٣٢° تحت صفر . ويوجد نوعان آخران من الثرمومتر مشهوران احدهما ثرمومتر سنتكراد والاخر ثرمومتر رومر

اما ثرمومتر سنتكراد فدرجة التجلد فيهِ مرقوم عندها صفر ودرجة الغليان ١٠٠

واما ثرمومتر رومر فدرجة التجلد فيهِ عند صفر ودرجة الغليان عند ٨٠

فنسبة ٩ و٥ و٤ بعضها الى بعض كنسبة درجات الاول والثاني والثالث بعضها الى بعض والفرق بين درجة التجلد والغليان في كلها واحدٌ اذا كانت من حجم واحد . وعلامة درجات الاول ف والثاني س والثالث ر فاذا اريد تحويل درجات مفروضة في الواحد الى درجات احد الآخرين تحول بنسبة تتالف من عددين من هذه الثلثة يختصان بالاثنين والدرجات المفروضة فالرابع المجهول هو درجات الآخر غير انهُ يجب اضافة ٣٢° لدرجات فهرنهيت بعد ان تستخرج في النسبة لان صفرهُ عند ٣٢° تحت التجلد

مثالهُ اذا قيل حوّل ١٥° س الى درجات ف تعمل هكذا ٥ : ٩ :: ١٥ : ك — ٢٧ + ٣٢ = ٥٩° ف

انهُ لمَّا كان الزيبق يجلد عند — ٣٩° فاذا اريد الوصول الى درجة

حرارة ادنى من ذلك فلا يعود الزيبق يصلح لهذه الغاية بل يستعمل لذلك غالبًا الكحول الذي لم يجلد قط . وقد يستعمل هواء الجلد في الترمومتر . فهذا السيال يبقى في الحالة الهوائية في كل درجة من الحرارة وقابل التمدد دائمًا . غير انهُ يتاثر ايضًا باختلاف الكبس فيكون بارومتر كما هو ترمومتر

ومن انواع الترمومتر ترمومتر التفاوت وهو موَّلف من انبوبة ملتوية حتى تصنع قائمتين . وعلى الساق الواحد مقياس وفي الانبوبة حامض كبريتيك ملون احمر ( شكل ٢٠٧ ) وفي البابوسين هواء . فان كانا على حرارة واحدة يكون الحامض في الساقين على موازنة ويكون عند صفر على المقياس واذا زادت حرارة احدهما يتمدد الهواء فيهِ فيطرد الحامض من ساقهِ الى الساق الاخر

شكل ٢٠٧

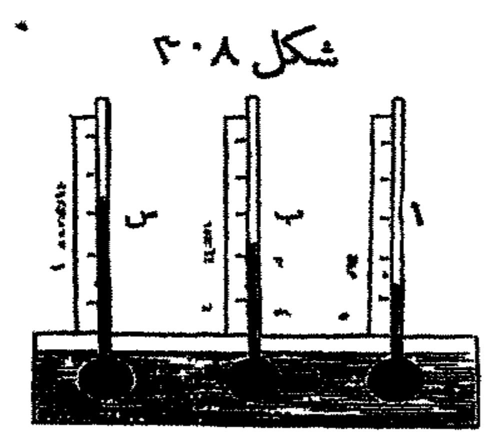


٥٤٤ كلٌّ من السائلات تمددهُ غير قياسي

اي لا يتمدَّد كازدياد درجة الحرارة ابدًا . فانهُ اذا كان سائل عند ٣٠٠° وزادت حرارتهُ عشرة درجات يتمدد اكثر مما اذا كان عند ١٠٠° . ولكن تمدُّد الترمومتر الزيبقي يتساوى تقريبًا بالصعود الى ٣١٢° وفوق ذلك الاحسن استعمالاً الترمومتر الهوائي

ثم ان مواد مختلفة لا تتمدد علَى التساوي باختلاف واحد في درجة الحرارة

ليوخذ عدة انابيب زجاجية مثل ا و ب و س ( شكل ٢٠٨ ) يتصل بها



شكل ٢٠٨

بلبوسات ذات حجم واحد ولتملأ سوائل مختلفة الى علوٍّ واحد . املأْ احداها ماء والثانية زيت السَّمَك والثالثة كحولاً . فان غمست كلها في وعاء واحد يحتوي ماء غاليًا تصعد السوائل الى اعالي مختلفة اذ يكون الماء اقلها علوًّا والزيت اقل علوًّا من الكحول . فاذا احميت المواد من ٣٢° الى ٢١٢° يتمدد

| | | |
|---|---|---|
| الزيبق | ١٨ | جزءًا من الف |
| الماء | ٤٣ | . . . |
| الزيوت الثابتة | ٨٠ | . . . |
| الكحول | ١١١ | . . . |

وهكذا الاجسام الجامدة لا تتمدد على حدٍّ سوى باختلافٍ واحد في درجة الحرارة . فاذا أُحميت من ٣٢° الى ٢١٢°

| | | | |
|---|---|---|---|
| فالزجاج البلوري او الصواني | يتمدد | ٨١١ | جزءًا من مليون |
| البلاتين | . | ٨٥٦ | . . . |
| الفولاذ | . | ١١٨٩ | . . . |
| النحاس الاصفر | . | ١٨٧٥ | . . . |
| النحاس الاحمر | . | ١٨٨١ | . . . |
| الفضة | . | ١٨٩٠ | . . . |
| التوتيا او الخارصيني | . | ٢٩٤٢ | . . . |

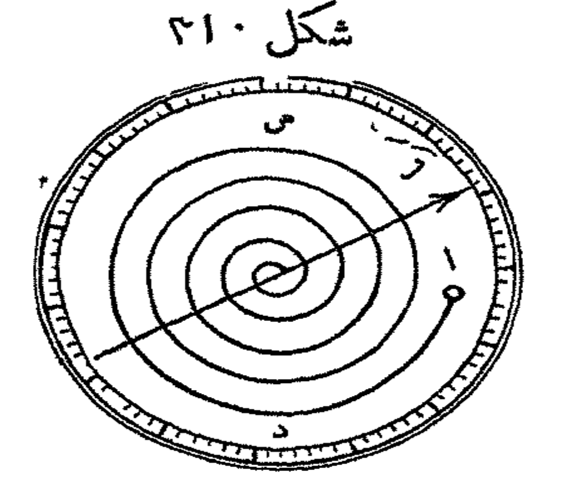
٥٤٥ ثرمومتر برگت. اذا اتحد سير من نحاس اصفر بسير من حديد حتى تكون القطعة المركبة منها ا ب ( شكل ٢٠٩ ) مستقيمة في درجة الحرارة

شكل ٢٠٩

الاعتيادية فان صُبَّ عليها ماء سخنًا تحني اذ يكون النحاس الاصفر على الجانب المحدَّب من القطعة كما ترى في س د. وان بُرِّدت حتى تصير درجة حرارتها ادنى فالانحناء يكون الى الجهة الاخرى اذ يكون الحديد على الجانب المحدَّب من المنحنى كما ترى في ح ل . وذلك لان النحاس يتمدد بالحرارة او يتقلص بالبرودة اكثر من الحديد فسيرٌ كهذا مركب من معدنين يصلح ان يستعمل لقياس درجة الحرارة

وهذا الترمومتر (شكل ٢١٠) مصنوع على هذا المبدا لان سير رقيق من بلاتين متحد بسير من فضة فيه سمكهُ نحو ١/٠ من عقدة وملتفٌ لفًّا حلزونيًّا وطرف واحد منهُ متصل بمسمار ثابت عند ا والآخر حامل الدليل ب الذي يتحرك فوق دائرة مقسومة الى درجات س د . وهذا الترمومتر قد يصنع دقيقًا فيعرف منهُ ادق اختلاف في الحرارة ويكون سهل الحمل جدًّا

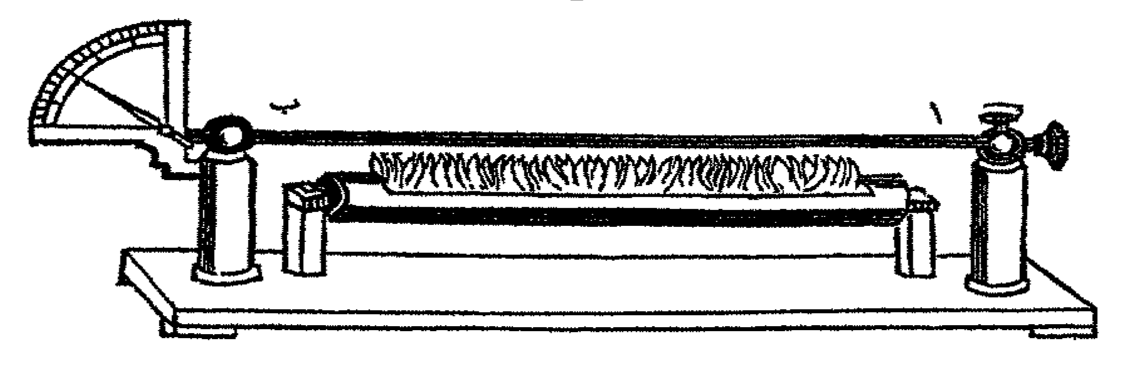
شكل ٢١٠




٥٤٦ لاجل قياس درجة عالية جدًّا من الحرارة لا يصلح استعمال الترمومتر الزيبقي او خلافهُ لان الزيبق يغلي عند ٦٦٠° ف فقد اصطنعت آلات اخر مختلفة لاجل قياس درجات الحرارة العالية اشهرها بيرومتر دانيال

هذا البيرومتر كما ترى (شكل ٢١١) مركب من انبوبة بلومباجين ا ب طرف منها ا مسدود والطرف الاخر مفتوح وفي جوفها قضيب بلاتين نات من

شكل ٢١١




الطرف المفتوح متصلٌ بعقرب يدور على مينة منقسمة الى درجات . فاذا احميت الانبوبة يتمدد القضيب فيدير العقرب الذي يشير الى درجة الحرارة

٥٤٧ ان بعض الاجسام كالماء تخالف ناموس التقلص بزيادة البرودة عند وصولها الى درجة معلومة من قلة الحرارة. فان الماء اذا كان عند درجة الغليان وبردتهُ ياخذ ان يتقلص في الحجم حتى يصل الى درجة ٣٩° وعند تلك النقطة يزول التقلص ثم ان بقيت درجة البرودة تزداد يبقى الحجم على ما هو لحظةً وينقلب الحال ويأخذ بالتمدد والاتساع حتى يتجلد. فالماء يصل الى معظم كثافتهِ عند ٣٩° ف اي ان كان الماء عند درجة ٣٩° فسواءٌ احميناه ام بردناه يتمدَّد . وقد عللوا عن تمدد الماء عند اقترابهِ الى درجة التجلد ان الجواهر عند وصولها الى ٣٩° ف تنتظم انتظامًا جديدًا استعدادًا للتبلور ثم تتبلور تاركةً مسامًا عديدة فيتسع الحجم

ومواد اخر كالحديد الذائب والكبريت والبزموث الخ يتمدد حجمها مثل هذا التمدد عند بداية تبلورها . وخاصية التمدد هذه تعتبر جدًّا في الطبيعة فانها في الحديد عند التبلور تجعلهُ مناسبًا للصب. لان تمدُّدهذا المعدن يجعلهُ ان يملأ القالب فيكون المصبوب ناعمًا تام الهيئة . وهي في الماء تجعل الجليد ان يعوم عليهِ اذا تجلد وجههُ شتاءً اذ يتمدد فيقل ثقلهُ النوعي . فتبقى درجة حرارة ما تحت الجليد من الماء ٣٩° اذ يغطيهِ الجليد ويحجز زيادة البرد الخارج . ولما كان الجليد يعوم على وجه الماء فحرارة شمس الصيف تذوبهُ في وقت قصير . ولو بقي الماء يتقلص ويتكاثف بزيادة البرد لكان يغرق الجليد الى اسفلهِ ما يتجلد وجههُ الى ان يصير كلهُ قطعة جليد ولاتعود حرارة الصيف الثاني كلهُ تكفي لتذويبهِ ولكان ينقطع مجرى بحيرات وانهر كبيرة وتدوم البحار المالحة متجلدة في البلاد الباردة فسبحان حكمة المبدع الذي جعل كل النواميس في المادة نافعة مناسبة

# الفصل الثاني

## في ايصال الحرارة وفي الحرارة النوعية

٥٤٨ ايصال الحرارة هو نقلها من جواهر مادة الى اخرى فاذا أُحمي جسم فوق الاجسام المجاورة لهُ توصل حرارتهُ الى تلك الاجسام باحدى ثلاثة طرق النقل والحمل والاشعاع

اما النقل فيكون بالجوامد كالمعادن وخلافها . فاذا أُحمي طرف قضيب معدن فوق لهيب مصباح فالطرف الآخر تصعد درجة حرارتهِ . وذلك لان الحرارة تنتقل بالتدريج من دقيقة الى اخرى حتى تصل الى الطرف الاخر ويقال حينئذٍ انها قد أُوصلت

ان الاجسام من حيث الايصال بالنقل نوعان منها ما هو موصل جيد ومنها ما هو موصل ردي. فاذا احترق عود حطب عند طرفهِ الواحد قلما يتأثر الطرف الآخر لآن الحطب او الخشب موصل ردي لنقل الحرارة. واذا احمي طرف قضيب حديد يحمى الطرف الاخر كثيرًا لانهُ موصل جيد .

والتجربة الآتية توضح لنا ذلك . خذ لوحًا مستديرًا من نحاس اصفر

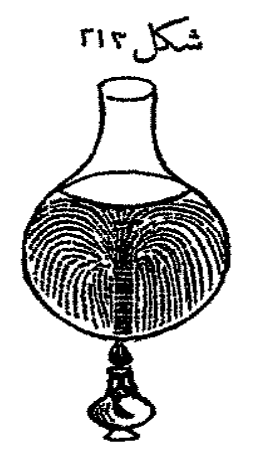
شكل ٣١٢

(شكل ٣١٢) حرفة مثقّب ومُدخَل في ثقبهِ قضبان من معادن مختلفة مقدارها واحد وطولها واحد في نهاية كلٍّ منها تجويف صغير لاجل وضع قطعة فصفور. فاذا وضع في اطرافها قطع فصفور واحمي اللوح بلهيب مصباح العرَق فالحرارة توصل في القضبان المختلفة وتشعل الفصفور اولاً في الموصل الاجود ثمَّ في البقية بالتتابع بحسب ترتيب قوتها في الايصال . فتشعلهُ اولاً في النحاس الاحمر ثم في الاصفر ثم في الحديد ثم في التوتيا ثم في القصدير ثم في الرصاص ثم في الزجاج

٥٥١ ان المعادن هي احسن الموصلات للحرارة . والزجاج والطين هما موصلان رديئان . واردأ الموصلات السائلات ثم الغازات اردأ السائلات ايصالاً . وبموجب ذلك تصنع احياناً مسكات خشبية لاوعية معدنية تستخدم للسائلات الحارَّة فيسهل حملها حينئذٍ لكون الخشب موصلاً رديًا للحرارة فلا ينقلها بكثرة الى اليد . ولكون الصوف موصلاً رديًا احيانًا عندما نحمل جسماً حاميًا نوسط الصوف السميك بينهُ وبين اليد . ولاجل حفظ الثلج من الذوَبان السريع نلفهُ او نطمرهُ بموصل رديٍّ كالصوف والتبن وغير ذلك. وريش الطيور وفرو الحيوانات هما موصلان رديان وليس فقط ذلك بل حاويان مقدارًا كبيرًا او صغيرًا من الهواء الذي هو موصل ردي وذلك يجعلها اصلح لمنع البرد. وقشر

الشجر موصل ردي للحرارة فيقيها من ضرر الحرارة صيفًا والبرد شتاء. وملابسنا الصوفية ايضًا موصل ردي للحرارة. وتختار للبوس شتاء ليس لانها نفسها حارة بل لانها موصل ردي للحرارة فلا توصل حرارة اجسامنا الى الهواء البارد وقس عليهِ

٥٥٢ اما ايصال الحرارة بالحمل فيكون في السائلات بوضعها في وعاء فوق النار. فاذا وضع اناءٌ فيهِ ماءٌ فوق نارٍ تمدد صفيحة الماء التي تمس قعرهُ فتصير اخف من التي فوقها. فلذلك تصعد والماء فوقها يهبط ثم تمدد الصفيحة التي نزلت الى القعر وتصعد. وهكذا لا تزال كل واحدة تمدد في نوبتها فيحصل من جرى ذلك مجرى من الماء الحار الى فوق ومجرى آخر من الماء الابرد الى اسفل فتُحمَل الحرارة من اسفل الى اعلى



شكل ٢١٢

وكيفية ذلك تتضح من النظر الى (شكل ٢١٢). فهذا الشكل يدل على وعاء مُليءَ اولاً ماءً باردًا ثم وُضع فيهِ قبضةٌ من ذرات الكهرباء المسحوقة. ولما كان الثقل النوعي للكهرباء كالذي للماء ويبقى عائمًا فيهِ فاذا وضع مصباح عَرَقٍ تحت الوعاء تظهر المجاري حالاً في الماء كما ترى في الشكل

٥٥٣ اما ايصال الحرارة بالاشعاع فيكون بارسال شعاع حرارة من جسمٍ حامٍ الى جميع الجهات. وهذا الاشعاع جارٍ

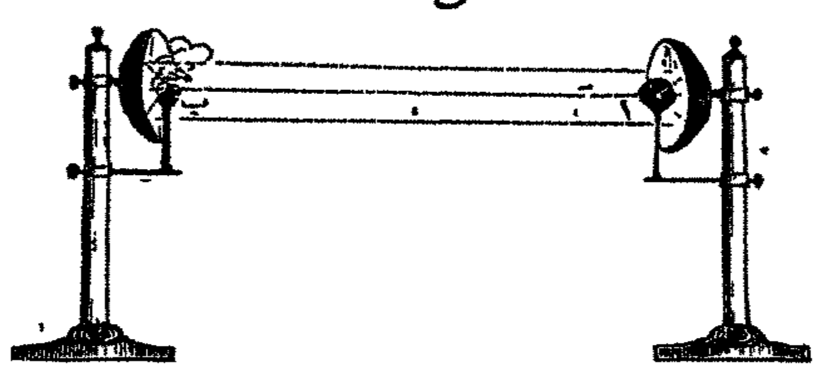
دائمًا في كل الاجسام لان الحرارة تطلب الموازنة كالكهربائية او الهواء فتخرج من جسمٍ حرارتهُ اكثر وتدخل في جسم حرارتهُ اقل . وقواعد الحرارة المشعّة كقواعد النور فانها تنعكس وتسير وتقل وتمتص وتنفذ على ناموس انعكاس النور وسيرهِ وقلتهِ وامتصاصهِ ونفوذهِ. فانها تسير على خطوطٍ مستقيمة وفي انعكاسها تكون زاوية الوقوع وزاوية الانعكاس متساويتين وسطح الوقوع وسطح الانعكاس واحد . واذا بعدت تقل كازدياد مربع البعد لان الحرارة التي هي على بعد ذراعين من الجسم الحامي ربع التي على بعد ذراع واحدة منهُ وهلمَّ جرًّا. وبعض الاجسام تمتص جانبًا كبيرًا منها والبعض جانبًا صغيرًا وتعكس الباقي . والحرارة ينفذ جانب منها في الاجسام الشفافة غير انهُ اذا كان مصدر الحرارة غير الشمس فلا تنفذ كحرارة الشمس في الاجسام الشفافة . ولا نعني بهذا النفوذ ايصال الحرارة بالنقل في المواد كما مر لانها بهذا المعنى تنفذ في جميع الاجسام بل نعني اختراقها جسمًا شفافًا بدون النقل. وسياتي تفصيل الكلام على كل ذلك

٥٥٤ انعكاس الحررة وسيرها وقلتها . اما كون الحرارة تقلُّ كازدياد مربع البعد فبرهانهُ بموجب الهندسة او بالامتحان سهلٌ. واما كون انعكاس الحرارة وسيرها كانعكاس النور وسيرهِ فيتبين

كما سياتي

اذا وضع مرآتان شلجميتا الشكل احداها مقابلة الاخرى وبينهما مسافة

شكل ٢١٤



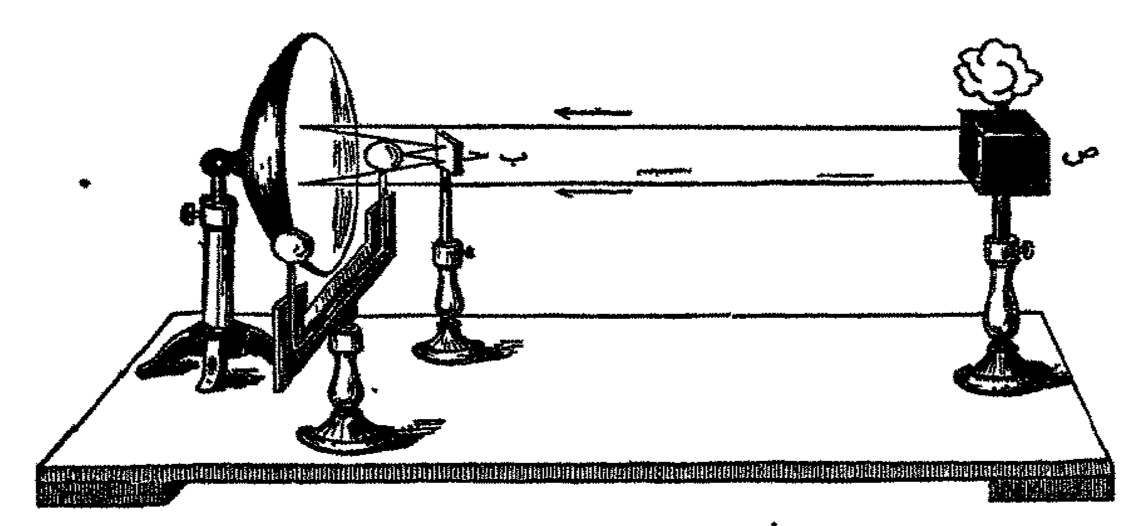

نحو عشر اذرع (شكل ٢١٤) ثم وضع في البورة الرئيسة لاحداها عند ا جسم حام وفي البورة الرئيسة للاخرى عند ب جسم سريع الاشتعال كقطعة فصفور او قليل من البارود يلتهب الفصفور او البارود من شعاع الحرارة المجموعة ولا يلتهب اذا وضع في غير نقطة ب . وذلك دليل على ان شعاع الحرارة قد سارت في خطوط مستقيمة وانعكست عن المرآة الاولى متوازية لوقوعها عليها منتشرة من البورة الرئيسة وتجمعت في البورة الثانية الرئيسة لوقوعها عليها متوازية كالنور تماماً الذي لا يجري هذا المجرى الا بموجب الناموس المذكور للنور ان زاوية الوقوع وزاوية الانعكاس لخيوط النور المستقيمة متساويتان . وتجعل المرآتان شلجميتا الشكل لزيادة انضمام الحرارة لكونه يبرهن هندسيًّا كون الشعاع المتوازية اذا كانتا كذلك تجتمع الى نقطةٍ واحدة على اسلوب البرهان المذكور (رقم ٤٨٠)

٥٥٥ ثم انهُ بين الاجسام تفاوت في عكس الحرارة عنها فبعضها يعكس عنهُ حرارة وافرة وبعضها حرارة اقل فكلما ينعكس عنهُ كثيرًا يمتص قليلًا منها وبالعكس

وهذا الشكل يبين لنا الطريقة التي بها اظهر المعلم لسلي التفاوت بين

اجسام مختلفة في عكس الحرارة ونسبة بعضها الى بعض من هذا القبيل . فانهُ وضع صندوقًا مكعبًا ص من تنك مملوءًا ماءً غاليًا امام مرآة شلجمية . فشعاع

شكل ٢١٥




الحرارة اذ وقعت على المرآة انعكست عنها الى البورة ب ثم اذ وسّط صفيحة مربعة من مادة ما بين المرآة والبورة انعكست ايضًا الشعاع الى بورة بعدها امام الصفيحة كبعدها خلفها . ثم وضع في تلك البورة بلبوس ثرمومتر التفاوت الذي بهِ قاس الحرارة . ثم بتوسط صفائح مواد مختلفة على التوالي عرفت نسبة بعضها الى بعض من قبيل عكس الحرارة عنها

فقد بيّن لسلي المذكور بهذا الاسلوب ان النحاس الاصفر الصقيل هو الاعظم قوةً لعكس الحرارة . وان الفضة تعكس تسعة اعشار ما يعكسهُ النحاس والقصدير ثمانية اعشار والزجاج عشرهُ وان الصفائح التي تسوّد بالدخان لا تعكس الحرارة مطلقًا

٥٥٦ امتصاص الحرارة ۰ ان بين الاجسام من قبيل امتصاص الحرارة تفاوتًا ايضًا . والمعلم لسلي بيّن ذلك بانهُ وضع الصندوق ص امام المرآة الشلجمية كما هو موضوع (شكل ٢١٥) ثم وضع بلبوس

ثرمومتر التفاوت في بورة المرآة ب وكان يغطيهِ بصفائح المواد التي اراد تجربتها • فعلى هذا الاسلوب بين المذكوران الجسم الذي يعكس الحرارة اكثر من جسم آخر يمتص منها اقل وبالعكس • وعند ما سوّد بلبوس الثرمومتر بالدخان حصل التغيير الاعظم في درجة الثرمومتر واذ غطاهُ بورق النبات حصل التغيير الاقل

ثم لما عكس المعلم المذكور العمل بانهُ عوض ان يغطي الثرمومتر بالاجسام التي قصد التجربة فيها غطّى اوجه المكعب بصفائح من اجسام مختلفة الجنس ظهر لهُ ان قوة الاشعاع اي ارسال الحرارة في الاجسام هي كقوة الامتصاص او بالعكس كقوة التعكيس• وعلى كل حال الموصل في الاشعاع ليس هو مادة ظاهرة كموصل النقل والحمل بل هو المادة الايثيرية نفسها التي الحرارة جزءٌ منها وتموج فيها

٥٥٧ ثم ان قوة التعكيس وقوة الامتصاص في الاجسام تتوقفان على الصقال والكثافة وبعد الشعاع الواقعة وطبيعة مصدر الحرارة واللون

فالاجسام الصقيلة مع المساواة في سائر الصفات المذكورة هي اجود من غير الصقيلة في التعكيس واردا منها في الامتصاص

والاجسام الكثيفة اذا تساوت بقية الصفات المذكورة تعكس اكثر وتمتص اقل من اللطيفة

وكلما كانت شعة الحرارة الواقعة اقرب الى العمودي بين زاوية الوقوع وزاوية الانعكاس كانت الحرارة المنعكسة اقل والممتصة اكثر

وطبيعة مصدر الحرارة تغير احياناً قوتي التعكيس والامتصاص. مثالهُ اذا دُهن جسم بكربونات الرصاص المعروف عند الاوربيين بالرصاص الابيض يمتص من صندوق مكعب مملوءٍ ماءً غاليًا حرارة اكثر مما اذا كانت نفس كمية تلك الحرارة صادرة عن سراج. ولكن اذا دُهن جسم بسناج السراج فمبلغ الحرارة الممتص واحد مهما كان مصدر الحرارة

والاجسام الملونة واخصها البيضاء ان تساوت الاجسام في سائر الصفات المذكورة تمتص اقل وتعكس اكثر من السوداء. وقد جرَّب فرانكلين ذلك بوضعهِ رقعًا من جوخ مختلفة الالوان على ثلج تحت شعاع الشمس ومن ذوبان الثلج تبين لهُ ان قوات الالوان لامتصاص الحرارة اذا ابتدانا من اللون ذي القوة العظمى للامتصاص هي على هذا الترتيب الاسود ثم البنفسجي ثم النيلي ثم الازرق ثم الاخضر ثم الاحمر ثم الاصفر ثم الابيض. وعكس هذا الترتيب

لقوات الالوان للتعكيس

٥٥٨ نفوذ الحرارة . النور ينفذ في جميع المواد الشفافة مهما كان مصدرهُ لان النور الآتي عن مواد محترقة او عن كهربائية او غيرها ينفذ فيها كما ينفذ نور الشمس . واما الحرارة فان كان مصدرها الشمس فتنفذ كالنور في كل المواد الشفافة وان كان مصدرها غير الشمس كحرارة نار او ماء غالٍ فلا تنفذ في كلها . فاذا وُضع بيننا وبين نار مضطرمة لوح زجاج يحجز عنا اكثر حرارتها ولكن لا يحجز عنا حرارة الشمس الا قليلاً . واذا حالت عدسية زجاج محدبة كبيرة دون نور الشمس فان حرارة الشمس لا ينحجز منها الاَّ القليل بل تنفذ مع النور من الزجاج وتجمع عند بورتها ويظهر لها فعل قوي . واذا كانت العدسية كبيرة عظيمة التحديب وتحديبها شلجمي تصهر كل نوع من المعادن كما مر في الكلام على العدسية المحدبة في النور . ولكن ان حجزت هذه العدسية دون حرارة ماء غالٍ في صندوق مكعب او حرارة سراج او نار فلا ينفذ في العدسية منها ما يشعر بهِ . وسبب ذلك ان الشمس حرارتها اقوى جدًّا من حرارة الماء الغالي او السراج . فقوة الحرارة للنفوذ في اجسام شفافة هي بحسب حرارة الجسم الحامي التي تصدر منهُ

٥٥٩ ثم ان هواء الجلد تنفذ فيهِ الحرارة سواء كان مصدرها

الشمس او خلافها كالنار او الماء الغالي لكونهِ شفافًا لطيفًا جدًّا. وذلك لطف من الله لانهُ لولا اختراق الحرارة فيهِ لما كانت نيران الجحيم تدفينا شتاء. ثم لكون الحرارة تنفذ فيهِ تمامًا مع النور لا يمتص شيئًا من الحرارة بنفوذ النور فيهِ الا قليلًا جدًّا. ولكنهُ يمتص منها ما يكتسبهُ بالمجاورة من حرارة الارض التي تكتسبها عند وقوع النور عليها. وذلك علة لحدوث الرياح والنسام كما مر (رقم ٣٢٧) لان الهواء اذ يمتص الحرارة بمجاورتهِ للارض التي تاخذها من حرارة الشمس يتلطف فيصعد وياتي هواءٌ آخر من حيث الهواء ابرد فيحدث رياح. ثم ان ماء البحر موصلًا اردى من الارض في نقل الحرارة والارض تحترّ او تبرد قبلهُ عند وقوع الحرارة عليها او نزعها عنها فيحدث نسيم بحري ضحًى ونسيم برّي ليلًا للسبب المشار اليهِ نفسهِ

اما الاجسام الشفافة التي ينفذ فيها كل نوع من الحرارة فيقال لها دياثرمية والتي لا ينفذ فيها كل نوع من الحرارة يقال لها أثرمية. فالماء والزجاج اثرميين ومع كونهما عظيمي الشفافية وينفذ فيهما النور الاضعف لا تنفذ فيهما تموجات الحرارة الاَّ اذا كانت كثيفة جدًّا. فان اضاء سراج على صفيحة رقيقة من جليد يخترقها من الحرارة ٦ من مائة فقط مع ان اكثر النور يكون قد نفذ فيها

ثم ان الملح المعدني هو دياثرمي وتنفذ فيهِ كل الحرارة الاَّ قليلاً جدًّا لان صفيحة من الملح المعدني الصافي سمكها عُشر عقدة يخترقها ٩٢ من المائة من حرارة مصباح واذا دُهِنت بسناج حتى تصير تحجز النور تمامًا فلا تزال الحرارة تنفذ كما نفذت تقريبًا. فيظهر ان الحرارة والنور ليسا شيئًا واحدًا بل هما شيئان ممتازان يجتمعان احيانًا وينفصلان اخرى وان بينهما مشابهةً من اوجه ومباينة من اوجه اخرى. ولعل نور القمر الذي مصدرهُ الاصلي الشمس قد انفصل عن الحرارة بداعي وقوع شعاع الشمس على مادة اثرمية تحيط با القمر وعدم نفوذ حرارتها فيها لانهُ قد امتحن نور القمر بجمعهِ في مرآة مقعرة فلم يظهر فيهِ شيءٌ من الحرارة والله اعلم

ثم ان اصطنع منشور من الملح المعدني الصافي او مادة اخرى عظيمة الدياثرمية يظهر ان الحرارة تتكسر كالنور اذ تميل عن جهة مسيرها اقل من اكثر الالوان ويقع اكثرها اقرب الى جهة مسيرها من حدِّ اوَّل النور الاحمر من الطيف وبعضها يطابق النور المذكور وذلك يطابق ما تقرر في الكلام على انحلال النور

ولنا امثلة في الامور العمومية تطابق نقل الحرارة با لاشعاع فان الملابيس تختار صيفًا من انسجة تعكس الحرارة بكثرة وتمنع عنا كثرتها كالعنبركيس والنسيج الكتاني لان لون الاول ابيض والثاني اكثف من غيره وتختار شتاءً من انسجة صوفية سوداء لكون الصوف واللون الاسود يمتصان من الحرارة اكثر

مما يعكسان. واذا قصد اللون فقط فالابيض انسب لكلا الفصلين لانهُ احسن لتعكيس الحرارة صيفًا وارد أُلاشعاعها شتاءً من اللون الاسود

الزيوت والمواد الدهنية تعكّس الحرارة جيدًا وقليلة الاشعاع ولذلك نرى بعض قبائل الشمال يدلكون اجسامهم بالزيوت لانها قليلة الاشعاع لتحفظ الحرارة الحيوانية اذ يفعل الزنج نفس هذا الفعل ليمنعوا امتصاص الحرارة من خارج. والثلج هو جيد للتعكيس ولكنهُ قليل الامتصاص والاشعاع. ولذلك تقي صفائح الثلج النباتات التي تغطيها. والثلج والجليد اذا وقعت عليهما اشعة الشمس يذوبان بطيئًا ولكن ان كان داخلًا فيهما حجر او غصن شجرة يذوب منهما ما يجاور الحجر او الغصن باسرع وقت اولًا بامتصاص حرارة الشمس ثم باشعاعها الحرارة الى الدقائق المجاورة

٥٦٠ الحرارة النوعية . يراد بالحرارة النوعية لجسم مبلغ الحرارة التي ترفع حرارتهُ درجةً باعتبار الحرارة التي ترفع حرارة جسمٍ اخر مختلف المادة وزنهُ مثل وزنهِ كذلك درجة اذ تحسب الحرارة التي ترفع حرارة الجسم الثاني درجة واحدًا . مثالهُ الحرارة التي ترفع درجة حرارة الماء الظاهرة درجةً واحدةً هي عشرة اضعاف التي ترفع حرارة الحديد المساوي للماء وزنًا درجةً واحدةً وثلاثة وثلاثين ضعف التي ترفع الزيبق كذلك. فاذا وضعت ثلاثة اوزان متساوية من هذه المواد الثلاثة في حرارة واحدة يحمى الزيبق اكثر من الاثنين الباقيين ويحمى الحديد اكثر من الماء لانهُ يختفي في الماء تسعة اعشار الحرارة التي تظهر في الحديد واثنان وثلثون من ثلاثة

وثلثين جزءًا من الحرارة التي تظهر في الزيبق . وقد علل بعضهم عن ذلك ان الماء اذ يتمدد اكثر من الباقيين المذكورين بالحرارة يمتص جانبًا منها ويخفيها بحيث لا تعود تظهر بالحس او بالثرمومتر. ويقتضي ان يجعل جسمٌ ما اوليًا لكي نقاس الحرارة النوعية لكل واحدٍ من سائر الاجسام على حرارتهِ محسوبةً واحدًا فيتعين عدد الحرارة النوعية وقد جعلوا الماء اوليا حاسبين حرارتهُ واحدًا لكون حرارتهُ النوعية اعظم من سائر الاجسام المعروفة وسياتي تدوين القائمة التي تدل على الحرارة النوعية لبعض الاجسام باعتبار الماء اوليًا. ولمعرفة الحرارة النوعية للاجسام طرق شتى اشهرها طريقتان احداهما للسائلات والاخرى للجوامد

(١) احمِ جسمًا معروفًا وزنهُ مطلوبًا حرارتهُ النوعية الى ان تصل حرارتهُ الى درجةٍ ما في الثرمومتر. ثم امزجهُ بوزن من الماء يساوي وزنهُ درجة حرارتهِ اقل من درجة الجسم. ثم خذ درجة حرارة المزيج . ثم قل نسبة ما خسرهُ الجسم بوصولهِ الى درجة المزيج الى ما ربحهُ الماء كنسبة واحد الى الحرارة النوعية

مثالهُ اذا أُحمي اوقية من الزيبق الى ١٣٢°ف ثم صبّت في اوقية ماء درجة حرارتهِ ٣٢°ف ترى درجة المزيج عند ٣٥،٢٥°. فيكون الماء قد حمي ٣،٢٥° والزيبق قد برد ٩٦،٧٥° فتكون نسبة ٩٦،٧٥ : ٣،٢٥ :: ١ : الحرارة النوعية = ٠،٠٣٣ وسبب ذلك واضح للفطن فتأمَّل

تنبيه . الحرارة النوعية للاجسام غالبًا تزداد قليلًا بصعود درجة حرارتها . ولكن الحرارة النوعية للغازات يظهر انها واحدة تقريبًا عند كل درجة من

الحرارة وتحت كل ضغط

(٢) خذ عدة اكواب من زجاج (شكل ٢١٦) فيها مقادير متساوية من الماء البارد . ثم خذ اجسامًا مطلوبًا معرفة حرارتها النوعية عددها مثل عدد الاكواب واوزانها متساوية واغمسها معا في

شكل ٢١٦

ماء غالٍ . ثم ارفعها من الماء الغالي وعلقها فوق الاكواب لكي تتدلّى في الماء البارد وتبقى هنيهةً الى ان توصل حرارتها اليهِ . فنرى الرصاص يرفع درجة حرارة الماء اقل من كل منها والقصدير اكثر قليلاً والنحاس الاحمر اكثر من القصدير والحديد اكثر من النحاس . واذا كانت كل الاجسام من حديد فانها ترفع الماء الى درجة واحدة من الحرارة في كل الاكواب . ثم لان حرارة الماء في كل كوب تتعادل بعد الايصال بحرارة الجسم الذي غطس فيهِ يعرف من درجة حرارة الماء في كل كوب كم نزلت حرارة الجسم فيهِ عمّا كانت اي عن ٢١٢° وكم ارتفعت حرارة الماء في الكوب عما كانت . ثم تجري النسبة لمعرفة الحرارة النوعية لكل جسم بموجب الطريقة الاولى بان يقال درجات هبوط حرارة الجسم الى درجات ارتفاع حرارة الماء كنسبة واحد الى الحرارة النوعية لذلك الجسم . واذا استخرجت الحرارة النوعية لكل من الاجسام المرقومة ترى حرارتها النوعية على الترتيب الذي ذُكر وترى الحرارة النوعية للحديد مضاعف التي للقصدير . والقائمة الآتية ترينا الحرارة النوعية لبعض الاجسام مستخرجة بموجب ما مرّ اذ تحسب الحرارة النوعية للماء واحدًا

| | | | |
|---|---|---|---|
| الماء | ١٫٠٠٠٠ | النحاس الاحمر | ٠٫٠٩٥ |
| الكبريت | ٠٫٢٠٢ | الفضة | ٠٫٠٥٧ |
| الزجاج | ٠٫١٩٨ | الزيبق | ٠٫٠٣٣ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| الحديد | ٠٫١١٤ | الذهب او البلاتين | ٠٫٠٣٣ |
| التوتيا | ٠٫٠٩٦ | الرصاص | ٠٫٠٣١ |

وبما ان لا فرق يعتبر بين حرارة الذهب النوعية وحرارة البلاتين ذكرا معًا في هذه القايمة فان الفرق يحصل في مقام عشرات الالوف من الكسر العشري

# الفصل الثالث

## في الحرارة الخفية والسائلية والتجميد والبخارية والغليان والتبلور ومصادر الحرارة

٥٦١ الحرارة الخفية . اذا صار جسم جامدٌ سائلًا او تحوَّل سائل الى غاز يختفي كمية وافرة من الحرارة فلا تظهر با لترمومتر. لنفرض قطعة جليد درجة حرارتها ٢٠° ف أُتي بها الى غرفة دافية فدرجة حرارة الجليد تصعد تدريجًا الى ٣٢° ومن ثم تاخذ با لذوبان. ولكن مدة ذوبانها التي قد تدوم ساعات جمَّة لا تصعد درجة حرارتها فوق ٣٢° مع ان الجليد لم يزل يقبل الحرارة كما كان يقبلها قبلاً . ولما كانت درجة الحرارة لم تصعد فوق ٣٢° نستنتج ان الحرارة لا بد ان تكون قد استخدمت في تحوُّل الجليد من الجمود الى

السائلية وتلك ما يقال لها الحرارة الخفية او المخفية . واذا مزجنا اوقية ثلج عند ٣٢° مع اوقية ماء عند ١٧٤° تكون درجة حرارة المزيج ٣٢° . فينتج ان الماء الذي صارت درجة حرارتهِ كما ظهر من الترمومتر ٣٢° يحتوي ١٤٢° من الحرارة زيادة عن الجليد الذي درجة حرارتهِ ٣٢° اي ان الحرارة الخفية للماء ١٤٢° . ويعلل عن ذلك بكون الجليد المتبلور عند انحلال بلوراتهِ قد اختفى فيهِ جانب من الحرارة الظاهرة خسرهُ الماء فالماء خسر ما اضيف اليهِ من الحرارة فبقيت درجة الحرارة كما كانت كما انهُ اذا عُكِس العمل بان جُمِّد الماء بتبريدهِ يبقى وقتًا قبل ان يهبط عن ٣٢° مع بقاء التبريد لظهور بعض الحرارة المخفية بتبلورهِ

٥٦٢ الحرارة المخفية في البخار . اذا وضع مصباح عرقٍ تحت وعاء يحتوي ماء درجة حرارتهِ عند ٣٢° ف ولوحظ الوقت المقتضى لرفع حرارتهِ الى ٢١٢° ثم ان دام المصباح يعطي الحرارة حتى يستحيل كل الماء الى بخار يرى كل الوقت المقتضي لتحويل الماء كلهِ الى بخار ٥½ اضعاف الوقت الذي يقتضيهِ رفع الماء من درجة التجلد الى درجة الغليان ودرجة حرارة الماء لا تصعد قطُّ فوق ٢١٢° . ففي تحويل الماء الى بخار كمية الحرارة الممتصة هي ٥½ اضعاف الحرارة المطلوبة لاصعاد الماء ١٨٠° من الحرارة فالبخار

عند ٢١٢° يحتوي ٩٩٠° من الحرارة الخفية. واذا تحول هذا البخار الى سائل تظهر هذه الكمية نفسها . مثالهُ اذا استقطرنا ابريقاً من الماء وبرَّدنا البخار بعشرة اباريق ماء بارد ياخذ الماء البارد ٩٩° من الحرارة

٥٦٣ الغليان. غليان سائلٍ هو جيشانهُ في قدرٍ فوق حرارةٍ قوية بتصاعد البخار فيهِ المتحوّل عنهُ بهيئة فقاقيع. والفقاقيع تتكون داخل السائل عند اسفلهِ واذ تصعد الى وجههِ تتلاشى وينفلت منها البخار الى الهواء . ومن حيث ان الهواء فوق السائل ابرد منهُ يتكاثف البخار ويظهر كبخار الضباب او السحاب

فعند تسخين الماء يتمدّد اوّلاً الهواء المتضمن فيهِ ويصعد الى وجههِ ويفلت . ثم بدوام الحرارة تحتهُ تتكون فقاقيع بخار في قعر الوعاء قرب الحرارة . وهذه اذ تتصاعد تصير اصغر فاصغر الى ان تصل الى وجههِ حيث تتكاثف بامتزاجها بالماء الابرد هناك ويصدر عن ذلك صوت يقال لهُ طشيش . وهكذا يدوم العمل الى ان يسخن كل الماء سخونةً كافية فلا تعود الفقاقيع تتكاثف بل تصعد وتفلت عند وجههِ وحينئذٍ تكون حرارتهُ قد وصلت الى درجة الغليان . وبعد الوصول الى تلك الدرجة لا تعود تصعد درجة حرارتهِ فوقها مع دوام ايصال الحرارة لهُ وسياتي تعليل

ذلك

ثم انهُ لواضح ان كبس الهواء يعيق في الغليان انفلات البخار من السائل الذي يتوقف عليهِ الغليان كما مر فلا يتأتَّى بروزهُ من الفقاقيع مدة الطشيش الى ان تصير مرونتهُ موازنة للكبس ومرونتهُ او قوة تمددهِ تختلف باختلاف الحرارة (رقم ٥٤١) فحرارة الغليان او درجة الغليان لسائل تختلف باختلاف كبس الهواء او ثقلهِ. فالماء يغلي كما اشرنا سابقًا عند ٢١٢° ف ونعني بذلك ان الماء يغلي عند تلك الدرجة تحت كبس الهواء وعلى سطحٍ علوهُ مثل علو وجه ماء البحر. فان البخار عند تلك الحرارة قوة مرونتهِ او تمددهِ تساوي كبس الجَلَد. ولكن ان نقص الكبس يغلي الماء عند درجة حرارةٍ اقل من ٢١٢°. فعلى الجبال العالية تهبط درجة الغليان ٢٠° او ٣٠° عنها عند سطح البحر. وتحت قابلة مفرغة الهواء اذ كان الكبس يزول تدريجًا بتفريغ الهواء تصير درجة الغليان اسفل فاسفل الى ان تصل الى ٧٢° كما اشرنا في الكلام على المفرغة (رقم ٣٥٦). واذا زاد الكبس على وجه الماء عن ثقل الجلد كما اذا كان ضمن ناقوس الغواصين داخل البحر تعلو درجة الغليان لان مرونة البخار عند تلك الدرجة حينئذٍ لا تعود كافية لان تغلب على الكبس فوقهُ

ومما يؤيد ما قيل التجربة الاتية وهي اغلِ قليلاً من الماء في قنينة زجاج رقيقة. ثم ارفعها عن النار وسدها بفلينة واقلبها. فالبخار المتكون يضغط بعدئذٍ على الماء ويمنعهُ عن الغليان. وعند ما يحدث ذلك اسكب قليلاً من الماء البارد على القنينة فالماء داخلاً ياخذ حالاً ان يغلي شديدًا لان البخار يكون قد تكاثف بالبرد وزال الضغط عن الماء. ويمكن تكرار هذه العملية مرارًا الى أن تصير برودة الماء في القنينة كافية حتى تمنعهُ عن الغليان في الخلاء

٥٦٤ قوة مرونة البخار. اذا تكوَّن البخار بالغليان في وعاء مكشوف فقوة مرونتهِ تساوي ثقل الهواء ولولا ذلك لما ظهر وذلك نحو ١٥ ليبرة او نحو ٨ وق ٣ط لكل عقدة مربعة. ولكن اذا تكوَّن في اناء مغطّى او مسدودٍ ضابطًا حتى لا يعود يستطيع ان يتمدَّد بارتفاع درجة حرارة الماء فقوة مرونة البخار تزداد بنسبة اعظم جدًّا من نسبة ارتفاع درجة الحرارة وعدا ذلك يضاف اليهِ بخار جديد. والقائمة الاتية ترينا قوة مرونة البخار المحصور عند درجات معلومة من الحرارة اذ تقاس تلك القوة على ثقل الجلد

| ثقل الجلد | درجة الحرارة | ثقل الجلد | درجة الحرارة |
|---|---|---|---|
| ١ | ٢١٢ | ١١ | ٣٦٧ |
| ٢ | ٢٥١ | ١٢ | ٣٧٤ |
| ٣ | ٢٧٥ | ١٣ | ٣٨١ |

| ٤ | ٢٩٤ | ١٤ | ٣٨٧ |
|---|---|---|---|
| ٥ | ٣٠٧ | ١٥ | ٣٩٣ |
| ٦ | ٣٢٠ | ١٦ | ٣٩٩ |
| ٧ | ٣٣٣ | ١٧ | ٤٠٤ |
| ٨ | ٣٤٣ | ١٨ | ٤٠٩ |
| ٩ | ٣٥١ | ١٩ | ٤١٤ |
| ١٠ | ٣٥٩ | ٢٠ | ٤١٨ |

فيرى من القائمة المرقومة انهُ لجعل قوة البخار تزيد بمقدار ثقل جلد واحد يقتضي اضافة ٣٩° من الحرارة وأن هذا العدد يتناقص حتى يقتضي الامر ٤ درجات فقط لاضافة الثقل العشرين من الجلد

٥٦٥ تاثير التمدد والتقلص في درجة الحرارة. اذا تمدَّد جسمٌ بتفريق دقائقهِ او بانتقالهِ من الجمود الى السائلية او من السائلية الى البخارية يمتص حرارةً وافرة كأن الحرارة اذا أُوصلت اليهِ واخترقتهُ تمددهُ. واذ يسلب تلك الحرارة من الاجسام المجاورة تنقص حرارتها ضرورةً فتبرد وتجلِّد. وبناءً على ذلك اذا مزجنا اوزان متساوية من الثلج وملح الطعام ودرجة حرارتها عند ٣٢° يسيلان بالامتزاج فتهبط درجة حرارتها الى —٩°. وتركيب كهذا يسمى مزيج مجلِّد. وتعليلُ ذلك ان للثلج شراهةً شديدة للاتحاد

بالملح واذا اتحدا يصيران سائلاً . ولا بد انهما يمتصان ويخفيان حينئذٍ جانبًا كبيرًا من الحرارة الظاهرة فيهما وفي الهواء فتهبط درجة حرارة المزيج . واذا صُبَّ ايثير على اليد يتحول سريعًا الى بخار فيسبب فيها حاسية البرودة لامتصاص بخارهِ المتحوِّل عنهُ بعض الحرارة الظاهرة

ومما يمثِّل لنا حصول البرد او نقصان درجة الحرارة بتحوُّل سائل الى بخار هذه الآلة (شكل ٢١٧) التي اخترعها المعلم وُلستن . وهي مركبة من انبوبة زجاج ب س طولها نحو ١٨ قيراطًا وقطرها ربع قيراط محنية عند طرف واحد وفي كل من طرفيها بلبوس . فعند اصطناع هذه الآلة يملأ جزء من البلبوس ا ماء اذ يكون مسدودًا والبلبوس د مفتوحًا ثم يُغلَى الماء حتى يطرد البخار الهواء من الانبوبة ويسد البلبوس المفتوح حينئذٍ بتذويب فوهتهِ بمصباح عرَق . فاذا نقل الماء الى البلبوس الاعلى د ثم غمس البلبوس الاسفل ا بمزيج من ملح وثلج يتكاثف البخار فيهِ ويحصل خلاء فيزول الكبس عن سطح الماء في الاعلى ويتحوَّل الماء سريعًا الى بخار ويمتد الى الاسفل . واذ لا يزال البخار يتكاثف في البلبوس الاسفل حالما يتكوَّن يجلد الماء سريعا في الاعلى لامتصاص البخار المتحوِّل عنهُ مقدارًا جسيما من الحرارة الظاهرة

شكل ٢١٧



٥٦٦ ثم انهُ اذا تقلَّص جسم او انضغط باقتراب دقائقهِ او بانتقالهِ من البخارية الى السائلية او من السائلية الى الجمود فانهُ

يعمل عكس عملهِ بالتمدد اي يطرد حرارةً مخفية فيسخن هو نفسهُ ويسخن الاجسام التي تحيط بهِ بتكثير الحرارة الظاهرة كما ان الجسم اذا تناقصت حرارتهُ يتقلص. مثال ذلك اذا مزج الكلس بماء بارد يتحدان حالاً لشدة الالفة بينهما ولان الكلس حينئذٍ ينضغط باتحادهِ بدقائق الماء الذي هو اكثف منهُ يطرد جانباً كبيراً من الحرارة الخفية ويسخن المزيج الى نحو درجة الغليان. وكذلك اذا مُزِج قليل من الماء مع قليل من الحامض الكبريتيك فلكون الماء يتقلص باتحادهِ بالحامض يشعر بحرارة قوية من اتحادهما اذا لمسا او لمس الاناء الذي فيهِ المزيج وقد اشرنا الى ذلك في الكلام على التمدد (رقم ٣٠) . والهواء اذا ضُغِط تظهر من ضغطهِ حرارة وقد امتحنوا ذلك بضرب مدك يدخل دخولاً محكماً في اسطوانة معدنية قد وضع فيها صوفانة فظهرت حرارة كافية لحرق الصوفانة وقس عليهِ

٥٦٧ التجميد او التجليد. بناء على انَّ البخار المتحوِّل عن سائل او السائل المتحول عن جامد يمتص حرارةً ظاهرة وافرة ويخفيها عن الاجسام المجاورة قد اخترعوا بعض طرق لتجميد بعض السوائل. لانهُ كلما ازداد تحوّل البخار عن سائل او السائل عن جامد يزداد امتصاص الحرارة وبالضرورة تزداد البرودة على الاجسام المجاورة

واذا كانت سوائل تجمدها . فيقتضي الامر لتجميد السوائل اذن ايجاد طريقة لاطالة تحوّل الجامد الى سائل او السائل الى بخار كما سيأتي

من هذه الطرق انهم يضعون السائل الذي يراد تجميدهُ مع سائل اخر فيهِ شراهة لهُ تحت قابلة مفرّغة الهواء . وكيفية ذلك ان تملأ زجاجة ساعةٍ او صحفة صغيرة ا ( شكل ٣١٨ ) ماء مثلاً وتوضع على وعاء قليل العمق بَ مملوءا من الحامض الكبريتيك . ثم يوضع الكل على صفيحة مفرّغة الهواء ويغطى بقابلتها . فعند تفريغ الهواء بالمفرغة لرفع الضغط عن الماء يتصاعد البخار بسرعة ويضغط على الماء في مكان الهواء الذي تفرّغ فيمتصهُ الحامض الكبريتيك لان لهُ شراهة كلية لذلك وهذه فائدة وضع الحامض الكبريتيك . واذ يرجع الفراغ بامتصاص البخار يرجع تحوُّل البخار وعلى هذا النمط لا يزال البخار يمتص من حرارة الماء حتى يصير الماء الى برودة كافية ان تجلدهُ . اما البخار الذي يرجع سائلاً باتحادهِ مع الحامض فعملهُ بالعكس لانهُ يطرد تلك الحرارة وتظهر بازدياد حرارة الحامض

شكل ٣١٨

ثم اذا وضعنا ضمن قابلة المفرغة سائلاً اخر تحوُّلهُ الى بخارٍ اسرع من تحول الماء نحصل على برودة اعظم . فاذا استعملنا الحامض الكبريتوس الذي يغلي عند ١٤°ف يكون لنا بردٌ كافٍ ان يجمد الزيبق . وطريقة ذلك ان يلف بلبوس الترمومتر بقطن مُشبَع من حامض كبريتوس ثم يوضع تحت القابلة ويفرَّغ الهواء

ومنها انهم يمزجون جوامد بجوامد او جوامد بسوائل لها شراهة بعضها لبعض واذ يصير المزيجُ بالاتحاد الى سائل يمتص

جانباً كبيراً من الحرارة الظاهرة في المزيج وفي السوائل المحيطة بهِ كما اشرنا (رقم ٥٧٨) ويبرِّدها . فقد يكون مزيج مثل هذا كافياً بتحريكهِ ان يجمِّد سائلاً مجاوراً .

من هذا القبيل اصطناع البوزه وهي آكلة لذيذة. وكيفية ذلك ان يوضع مزيج من ملح وثلج في وعاء اسطواني ضمنهُ وعاء آخر فيهِ حليب يمزج بسكر وماء زهر او خلاصة ويدار الوعاء الداخل لتحريك المزيج فبعد وقت قصير يتجمد الحليب

وهنا نذكر بعض امزجة التجليد مع ذكر الدرجة التي تصل اليها بامتزاجها

| امزجة | اجزاء وزناً | انحطاط حرارة |
|---|---|---|
| كبريتات الصودا | ٨ | من +٥٠° ف الى ٠° |
| حامض هيدروكلوريك | ٥ | |
| ثلج او جليد | ٢ | . كذا الى —٥° |
| ملح | ١ | |
| كبريتات الصودا | ٣ | . +٥٠° الى —٣° |
| حامض نيتريك مخفف | ٢ | |
| كبريتات الصودا | ٦ | . +٥٠° الى —١٤° |
| نيترات النشادر | ٥ | |
| حامض نيتريك | ٤ | |
| ثلج او جليد | ٣ | . +٣٠° الى —١٤° |
| كلوريد الكلسيوم | ٤ | |

فقد حولوا بهاتين الطريقتين او ما يشبههما كل السوائل الا الكحول الى جوامد . وبالحرارة حولوا كثيراً من الجوامد الى سوائل وبعضها الى سوائل ثم

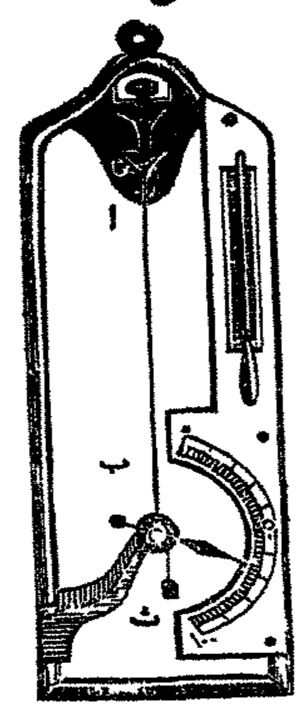
الى بخار . ومزيج من معدنين او معادن يتحول الى سائل عند درجة من الحرارة ادنى من التي يتحول عندها احد مفردات المزيج . مثالهُ مزيج مؤلف من ٨ اجزاء من بزموث و ٥ من رصاص و ٣ من قصدير يذوب بحرارة درجتها ادنى من درجة غليان الماء مع انهُ لا يذوب احد هذه المعادن بحرارة تحت ٤٢٠° ف

٥٦٨ البخار في الهواء. ان البخار حالما يتكون يتكيف بكيفية غازٍ ويمتزج مع الهواء فلا يمتصهُ الهواء امتصاص الاسفنج للماء . ودليل ذلك انهُ اذا أُدخل ايثير او ماء الى فراغ انبوبة بارومتر يتحول سريعًا بعض السائل الى بخار وبقوَّة مرونتهِ يهبط عمود الزيبق . فالبخار اذًا يقوم بنفسهِ كهواء الجلَد. ورطوبة الهواء هي بحسب كمية البخار الممزوجة به فان كان البخار فيهِ كثيرًا كانت رطوبتهُ كثيرة . وبما انهُ مهم ان تُعرَف كمية رطوبة الهواء لاجل ملاحظة الصحة او لغاية أُخرى قد اخترعوا الآت لاجل معرفة درجة الرطوبة نذكر بعضها . ويقال لآلة من هذا الجنس هيغرومتر

٥٦٩ الهيغرومتر الشعري. هذا الشكل هو صورة الهيغرومتر الشعري. فان ا ب شعرة معلقة عند ا وطرفها الاسفل ملفوف على محور عقرب عند ب ومربوطٌ بهِ ثقل صغير ث . فاذا زادت رطوبة الهواء تمص الشعرة كثيرًا منها فتطول واذا قلت الرطوبة تقل فيها الكمية الممتصة فتقصر وعند ما تطول او تقصر يدير الثقل الصغير العقرب الى فوق او الى تحت امام دائرة مقسومة

الى درجات فيشير العقرب الى درجة الرطوبة المرقومة على الدائرة . ولاجل تعيين الصفر عليها يقتضي الامر وضع الهيغرومتر اولاً في هواءٍ جافٍ . ولاجل معرفة درجة الرطوبة العظمى يقتضي وضعهُ في هواءٍ مشبع من الرطوبة

شكل ٢١٩




٥٧٠ درجة الندى . هي درجة الحرارة التي يقتضي الحال ان تهبط حرارة جسمٍ اليها مقاسةً على زيبق الثرمومتر ليتساقط بخار الهواءِ ماءً على ذلك الجسم ويحصل عليهِ ندى . وكلما زادت رطوبة الهواءِ قل انحطاط الزيبق الى درجة الندى وبالعكس . ولذلك تقاس رطوبة الهواءِ على مقدار درجات انحطاط الزيبق الى درجة الندى وعلى ذلك قد اختُرع هيغرومتر دانيال الذي بهِ تعرف درجة الندى وكمية رطوبة الهواءِ

شكل ٢٢٠

٥٧٢ هيغرومتر دانيال . هو آلة معتبرة لمعرفة درجة الندى . وهو مؤلَّف من انبوبة ملتوية ا س ب ( شكل ٢٢٠ ) عند طرفيهِ بلبوسان ا و ب والبلبوس ب ملفوف ومربوط عليهِ قطعة قماش مظلن رقيق . والبلبوس ا هو من زجاج اسود فيهِ ايثير نحو نصفهِ وفيهِ ايضاً ثرمومتر دقيق بلبوسهُ مغموس في الايثير لاجل معرفة درجة

الحرارة داخل الانبوبة . وصانع هذه الالة يدبر اصطناعها حتى تكون انبوبتها س ب فارغة من الهواء وحاوية بخار الايثير فقط. وعلى العمود الحامل الانبوبة ثرمومتر آخر كما ترى فان بُلَّ القماش على البلبوس ب بقليل من الايثير يبرد القماش والبلبوس سريعًا بتحوُّل الايثير الخارج الى بخار لما مر فيتكاثف حينئذٍ البخار داخلهُ ثم يتصاعد كمية اخرى جديدة من ا لتملأ مكانهُ وهلم جرًّا. فما دام الايثير يتحول في ا الى بخار تهبط درجة حرارتهِ. فبعد برهة ياخذ الندي يسقط على خارج الزجاج الاسود . وعند بداية حدوثهِ تلاحظ درجة الحرارة في الثرمومتر الداخل فتلك درجة الندى . ومن الملاحظة يظهر انهُ اذا كانت رطوبة الهواء قليلة تحط درجة الندى كثيرًا عن درجة حرارة الثرمومتر الخارج وبالعكس . فمن مقدار انحطاطها تعرف كمية الرطوبة في الهواء

٥٧٢ التبلوُر • اذا تحولت الاجسام بطيئًا من السائلية الى الجمود فعوض ان تختلط دقائقها بدون انتظام تميل ان تجمع الى كتل ذات هيئات منتظمة وهذه الكتل يقال لها بلورات • وهيئَاتها منتظمة هندسية تحدها سطوح مستوية ولها زوايا معلومة ثابتة• وهذه الهيئَات مختلفة الاجناس العديدة كالاشكال القياسية والمنشورات والمعينات وغير ذلك وكل جنس من انواع مختلفة فلا محل للاشارة الى هيئاتها • واجمل البلورات ترى بين المواد المعدنية الطبيعية المولدة بالتمادي تحت الارض بالقوى الطبيعية الفاعلة فيها مدة مستطيلة . فبلورات الثلج المعروفة عند العامة

بالذروان وبلورات السكَّر والشب وملح الطعام وما يشبهها هي من انواع البلورات

الاجسام تتبلور صناعيا بطريقتين . الطريقة الاولى بتذويبها ثم تركها لتبرد تدريجًا . فاذا ذُوِّب كبريت في اناء ثم تُرِكَ ليبرد تدريجًا ياخذ ان يتبلور على وجههِ وان كسرنا الغشاء المتبلور وصببنا السائل الكبريتي داخلها الى خارج نحصل على بلورات كبريتية جميلة

الطريقة الثانية ان يذوَّب الجسم الذي يراد تبلورهُ ثم يحوَّل المذوَّب الى بخار تدريجًا . فيتجمع الجسم المذوب حينئذٍ على قعر الوعاء وجوانبهِ على هيئة بلورات وعلى هذا الاسلوب يبلور السكر واملاح مختلفة

٥٨٦ مصادر الحرارة . اخص مصادر الحرارة هي الشمس والكهربائية والتركيب الكيماوي والاشتعال والانضغاط والتطريق والفرك

فالشمس هي المصدر الاعظم للحرارة . ولا نعلم المسبِّب الاصلي للحرارة في شعاع الشمس . وقد حسب مبلغ الحرارة الذي توصلهُ الشمس للارض سنويًا فوجد كافيًا لتذويب مقدار من الجليد يكسو كل الكرة الارضية سمكهُ نحو ٤٠ ذراعًا مع ان الارض بداعي بعدها الجسيم عن الشمس وصغر حجمها بالنسبة اليها لا تنال سوى جانب صغير من الحرارة التي تشعها الشمس في كل الجهات

اما كون الكهربائية مصدرًا للحرارة فقد مرَّ في باب الكهربائية . فقد قيل (رقم ٣٦٥ و٣٦٦ ) ان المجرى الكهربائي يحمي المعادن وان كان وافرًا يذوّب اصلبها واثقلها ويحرق المواد المشتعلة فراجعهُ

اما التركيب الكيماوي فيكون غالبًا مصحوبًا بحرارة . فان تركبت عناصر

تركيبا بطيئا فالحرارة لا يشعر بها وان تركبت سريعًا ينتج حرارة كثيفة احيانًا مصحوبة بنور

اما الاشتعال فهو حل المواد المشتعلة الى عناصرها المركبة منها تركيبًا كيماويًا بحرارة قوية كحرارة النار وتركبها مع اوكسجين الهواء . واخص عناصر المواد المشتعلة كالخشب والزيوت هي الكربون والهيدروجين . فالناتج من التحليل والتركيب حامض كربونيك ممزوج من بخار مائي وغازات اخر متطايرة تظهر بصورة الدخان واللهيب . وهذا الحل والتركيب الكيماويين يصدر عنهما حرارة قوية مصحوبة بنور لزيادة تموج المادة الاثيرية . فيكون الاشتعال مصدرًا للحرارة من جنس التركيب الكيماوي

والتنفس في الحيوان هو اشتعال بطيء فيهِ يتحد الكربون ومواد اخر في الدم مع اوكسجين الهواء وهذا النوع من الاشتعال يهيج حرارة جسد الانسان وسائر الحيوان . وهذه الحرارة يقال لها الحرارة الحيوانية

اما الانضغاط فقد اشرنا اليهِ ( رقم ٥٧٩ ) وقد قلنا هناك انهُ اذا صغر حجم الجسم بالانضغاط تظهر منهُ حرارة خفية . وهذا الحكم جارٍ في الاجسام مطلقا سواءٌ كانت جامدة ام سائلة ام غازية وعلى ذلك تظهر حرارة من الاجسام عند كبسها في المكابس كالورق في المطابع وحفش الزيتون في معاصر الزيت والهواء المضغوط في بعض الآلات وهلمَّ جرًّا

اما التطريق والفرك فهما مصدران للحرارة ايضا ومرجعهما الى الانضغاط. وذلك لانهُ بتطريق جسم والفرك عليهِ ينضغط كلهُ او بعضهُ وينضغط الهواء المجاور لهُ فتظهر حرارة بقدر قوة التطريق او الفرك . فاذا طرّقت قطعة رصاص او فولاذ مثلاً تظهر فيها حرارة قوية حتى لا يمكن لمسها وان زادت قوة التطريق وكُرِّر بسرعة فقد تصل الى درجة الاحمرار بالحرارة . وفرك زناد يقدح على صوانة علة لظهور الحرارة والشرار . وبعض قبائل البادية

يشعلون نارًا بفرك عودٍ على آخر. وفرك قطعتين من ثلج احداهما على الاخرى سبب كافٍ لتذويبهما . ولعل با لتطرق والفرك علة اخرى غير الانضغاط تسبب صدور الحرارة وهي اهتزاز الايثير بقوة اهتزاز جسمين صلبين كالزناد من الفولاذ والصوان . وهذا الظن يجري على القول الثاني من قولي النور كما علمت

تنبيه . قد التزمنا في بعض ابواب هذا الكتاب الماضية الى ذكر بعض اصول الحرارة كظهورها في الاجسام المنضغطة عند الكلام على الانضغاط وتمدُّد الاجسام بها عند ايضاح الرقاص المخترع لكي يبقى على طول واحد با لبرد والحرارة لاجل ضبط الوقت وعند الكلام على حركة الرياح بالحرارة والبرد وغير ذلك فلا حاجة الى مراجعتها فمن قرأ الابواب الماضية يتذكرها عند قراءة هذا الباب

# الفصل الرابع

## في الآلة البخارية

٥٨٧ انهُ من انفع اثمار بحث العلماء الطبيعيين في الحرارة اختراع الآلة البخارية التي تتحرك با لبخار فتحرك الاتٍ مختلفة في المعامل وغيرها . وهي تصنع على هيئات مختلفة جميعها تجري على مبدا واحد وهو ان البخار الكثير المرونة اذا أُدخل الى اعلى اسطوانة محصورة فيها مدك محكم وتفرغ ما تحت المدك من البخار والهواء يدفع البخار المدك الى اسفل واذا أُدخل الى اسفل كذلك يدفعهُ

الى اعلى . فاذا عمل تدبير حتى يخرج بخار خلقينة ماء تحتها نار قوية في حيّةٍ لا منفذ لهُ الا منها توصلهُ تارةً الى اعلى الاسطوانة المذكورة اذ يتفرغ ما تحت المدك واخرى الى اسفل اذ يتفرغ البخار الاعلى وهكذا على التوالي نحصل على حركة ميكانيكية في الآلة التي تحتوي الخلقينة والاسطوانة كما سياتي . وسنكتفي بايضاح نوع واحد منها منهُ تتضح بقية انواعها اذ كانت جميعها على مبدا واحد كما مر . وقبلما نوضح الآلة البخارية بالاجمال نوضح كيفية دخول البخار الى اعلى واسفل اسطوانتها على التوالى وتحريك مدكها بهِ

٥٨٨ اسطوانة الآلة البخارية . قد قيل ( رقم ٥٧٧ ) ان البخار اذا تكوّن في وعاء محصور فكلما ازدادت الحرارة تزداد قوة مرونتهِ بمعدل اعظم من معدل ازديادها . فاذا دام اشتعال النار تحت خلقينة واوصل بخارها بانبوبة الى اسفل واعلى اسطوانة الآلة على الاسلوب الاتي يتحرك مدكها فيحرك دولابها ودولابها يحركها واذا اتصل بها شي تحركهُ . وهذا الشكل يوضح لنا ذلك لتكن ص ( شكل ٢٣١ ) اسطوانة آلة البخار وم مدك وا قضيب المدك يمر في ثقب في اعلى الاسطوانة مرورًا محكمًا يحجز البخار عن الخروج عن جوانبهِ وض الضاغط يبقى باردًا بماء الحوض ح وسمي بذلك لضغطهِ

شكل ٢٣١